

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-009004
 (43)Date of publication of application : 11.01.2002

(51)Int.CI.
 H01L 21/205
 H01L 33/00
 H01S 5/223
 H01S 5/343

(21)Application number : 2000-347669 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 15.11.2000 (72)Inventor : KIDOGUCHI ISAO
 ISHIBASHI AKIHIKO
 SUGAWARA TAKESHI
 TSUJIMURA AYUMI
 BAN YUZABURO
 SUZUKI MASAKATSU
 KUME MASAHIRO
 MIYANAGA RYOKO
 MORITA KIYOKAZU
 HASEGAWA YOSHITERU

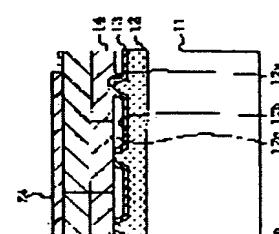
(30)Priority

| | | |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Priority number : 11324010 | Priority date : 15.11.1999 | Priority country : JP |
| 11367169 | 24.12.1999 | |
| 11369834 | 27.12.1999 | JP |
| 2000018407 | 27.01.2000 | |
| 2000025931 | 03.02.2000 | JP |
| 2000048824 | 25.02.2000 | |
| 2000120760 | 21.04.2000 | JP |
| 2000120761 | 21.04.2000 | |
| | | JP |

(54) METHOD OF MANUFACTURING NITRIDE SEMICONDUCTOR, NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE, METHOD OF MANUFACTURING THE SAME SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve a nitride semiconductor formed through an ELOG method in crystallinity, to enable a resonator to have a large light confining coefficient, to form the resonator whose edge face is reduced in mirror loss, and to easily align a mask



for forming a ridge.

SOLUTION: A GaN seed layer 12 for ELOG is formed on a sapphire substrate 11 through the intermediary of a low-temperature GaN buffer layer, and stripe-shaped protuberant parts 12a extending in the plane direction of the substrate and separating from one another by a certain space are provided to the upper part of the GaN seed layer 12. In succession, a silicon nitride film 13 is formed on the bases and wall surfaces of recessed parts 12b each interposed between the protuberant parts 12a, and then a GaN selection growth layer 14 is formed above the seed layer 12, coming into contact with the protuberant parts 12a so as to form air gaps between its under surface and the bases of the recessed parts 12b.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.07.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3571641

[Date of registration] 02.07.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ （但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ 、 $u + v + w = 1$ である。）からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上に、前記マスク膜から露出する前記各凸部の頂面であるC面を種結晶として、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ （但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ である。）からなる第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項 2】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 3】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 2 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 4】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物からなることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 5】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タンゲステン、モリブデン、ニオブ、タンゲステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 4 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 6】 基板上に、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ （但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ 、 $u + v + w = 1$ である。）からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上に、前記各凸部における前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ （但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ である。）からなる第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項 7】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 6 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 8】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化

ニオブであることを特徴とする請求項 7 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 9】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物からなることを特徴とする請求項 6 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 10】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タンゲステン、モリブデン、ニオブ、タンゲステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 9 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 11】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、前記溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、前記第1の窒化物半導体層の上面における前記各溝部同士の間に前記マスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、前記積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 12】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第1の窒化物半導体層の上に、該第1の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第1の窒化物半導体層

30 に対してエッチングを行なう工程を含み、前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 13】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 14】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 13 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 15】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項 13 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 16】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項 13 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 17】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物であることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 18】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 17 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 19】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上における前記各溝部同士の間に前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第 2 の窒化物半導体層と、該第 2 の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第 3 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第 4 の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 20】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第 1 の窒化物半導体層の上に、該第 1 の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第 1 の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、

前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項 19 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 21】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 19 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 22】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 21 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 23】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項 21 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 24】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパック法を用いて形成することを特徴とする請求項 21 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 25】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物からなることを特徴とする請求項 19 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 26】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 25 に記載の窒化物半

導体素子の製造方法。

【請求項 27】 基板の上部に、基板面方向に互いに並行して延びる複数の凸部を形成する工程と、前記基板の上の前記各凸部の頂面に、 A_1, G_a, I_n, N (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ である。) からなる窒化物半導体層を選択的に成長する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項 28】 前記基板は窒化物半導体からなり、前記凸部を形成する工程と前記窒化物半導体層を成長する工程との間に、

互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆う、誘電体、高融点金属又は高融点金属化物からなるマスク膜を形成する工程をさらに備えていることを特徴とする請求項 27 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 29】 基板の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記基板の上面における前記各溝部同士の間の領域上に、基板側から選択的に、第 1 の窒化物半導体層と、該第 1 の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第 2 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第 3 の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 30】 前記積層体を成長する工程は、前記各溝部の底面及び壁面と、前記積層体における前記溝部の対向面とにより囲まれてなる複数の空隙部を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 29 に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 31】 前記積層体を成長する工程は、前記積層体を前記基板上にバッファ層を介在させることなく成長させることを特徴とする請求項 29 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 32】 基板上に順次形成され、第 1 の窒化物半導体層、該第 1 の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第 2 の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第 3 の窒化物半導体層とを含む積層体と、

前記積層体の上に形成され、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部とを備え、前記活性層における前記電流狭窄部の下方で且つ前記活性層と前記基板との間の領域に空隙部が形成されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 33】 前記空隙部の上には、前記第 1 の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ第 4 の窒化物半導体層が形成されていることを特徴とする請求項 32 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 34】 基板上に形成され、上部に互いに間隔

をにおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、

前記第1の窒化物半導体層の上に、下面が前記各凸部の頂面と接するように形成された第2の窒化物半導体層と、

前記第2の窒化物半導体層の上に形成され、第3の窒化物半導体層、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層とを含む積層体とを備え、

前記第2の窒化物半導体層は、前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つことを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項35】 前記凸部同士の間に形成され、前記第2の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さい屈折率を持つ低屈折率領域を有していることを特徴とする請求項34に記載の窒化物半導体素子。

【請求項36】 前記低屈折率領域は空隙部であることを特徴とする請求項35に記載の窒化物半導体素子。

【請求項37】 前記第2の窒化物半導体層と前記第3の窒化物半導体層との間に形成され、前記第2の窒化物半導体層又は前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さい又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有し、上面が電極と接触する第6の窒化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項34に記載の窒化物半導体素子。

【請求項38】 前記第2の窒化物半導体層は組成にアルミニウムを含んでおり、

それぞれが、前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層との間に前記各凸部の頂面とその近傍とのみを覆うように形成され、アルミニウムの組成が前記第2の窒化物半導体層のアルミニウムの組成よりも小さい複数の第6の窒化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項34に記載の窒化物半導体素子。

【請求項39】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上面における前記各溝部同士の間に前記マスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層と、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備え、

前記積層体を成長する工程は、前記第2の窒化物半導体層を、その光の屈折率が前記第3の窒化物半導体層の光

の屈折率よりも小さいか又は同等となるように成長する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項40】 前記積層体を成長する工程は、前記第2の窒化物半導体層の組成がアルミニウムを含む場合に、

前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層との間に、アルミニウムの組成が前記第2の窒化物半導体層のアルミニウムの組成よりも小さい複数の第6の窒化物半導体層を前記凸部の頂面とその近傍のみとを覆うように形成する工程を含むことを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項41】 前記積層体を成長する工程は、前記第2の窒化物半導体層と前記第3の窒化物半導体層との間に、前記第2の窒化物半導体層又は前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有する第6の窒化物半導体層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

20 【請求項42】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第1の窒化物半導体層の上に、該第1の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第1の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項43】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

30 【請求項44】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項43に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項45】 前記マスク膜は、電子サイクロotron共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項43に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項46】 前記マスク膜は、電子サイクロotron共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項43に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項47】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物からなることを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項48】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タンゲステン、モリブデン、ニオブ、タンゲステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項47に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

50 【請求項49】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成

する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上における前記各溝部同士の間に前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層と、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備え、

前記積層体を成長する工程は、前記第2の窒化物半導体層を、その光の屈折率が前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等となるように成長する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項50】 前記積層体を成長する工程は、前記第2の窒化物半導体層の組成がアルミニウムを含む場合に、

前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層との間に、アルミニウムの組成が前記第2の窒化物半導体層のアルミニウムの組成よりも小さい複数の第6の窒化物半導体層を前記凸部の頂面とその近傍のみとを覆うように形成する工程を含むことを特徴とする請求項49に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項51】 前記積層体を成長する工程は、前記第2の窒化物半導体層と前記第3の窒化物半導体層との間に、前記第2の窒化物半導体層又は前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有する第6の窒化物半導体層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項49に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項52】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第1の窒化物半導体層の上に、該第1の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第1の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、

前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項49に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項53】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項49に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項54】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項53に記載の窒

化物半導体素子の製造方法。

【請求項55】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項53に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項56】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項53に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項57】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物からなることを特徴とする請求項49に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項58】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タンゲステン、モリブデン、ニオブ、タンゲステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項57に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項59】 基板上に、 A_1, G_a, I_n, N （但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u + v + w = 1$ である。）からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

20 前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上に、前記マスク膜から露出する前記各凸部の頂面であるC面を種結晶として、 A_1, G_a, I_n, N （但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ である。）からなる複数の第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備え、

前記複数の第2の窒化物半導体層を形成する工程は、前記各第2の窒化物半導体層を、各第2の窒化物半導体層が前記複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに、前記凸部が延びる方向と平行な側端面が露出するように形成する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項60】 前記側端面はA面又はM面であることを特徴とする請求項59に記載の窒化物半導体の製造方法。

40 **【請求項61】** 前記複数の凸部を形成する工程は、前記複数の凸部の形成周期を、前記側端面が露出する領域が前記側端面が露出しない領域と比べて大きくなるように形成することを特徴とする請求項59に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項62】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項59に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項63】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項62に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項64】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物からなることを特徴とする請求項59に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項65】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項64に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項66】 基板上に、Al, Ga, In, N(但し、u, v, wは、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ 、 $u + v + w = 1$ である。)からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上に、前記各凸部における前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、Al, Ga, In, N(但し、x, y, zは、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ である。)からなる複数の第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備え、前記複数の第2の窒化物半導体層を形成する工程は、前記各第2の窒化物半導体層を、各第2の窒化物半導体層が前記複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに、前記凸部が延びる方向と平行な側端面が露出するように形成する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項67】 前記側端面はA面又はM面であることを特徴とする請求項66に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項68】 前記複数の凸部を形成する工程は、前記複数の凸部の形成周期を、前記側端面が露出する領域が前記側端面が露出しない領域と比べて大きくなるように形成することを特徴とする請求項66に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項69】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項66に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項70】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニア又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項69に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項71】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物からなることを特徴とする請求項66に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項72】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項78に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

ドであることを特徴とする請求項71に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項73】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上面における前記各溝部同士の間に前記マスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、それぞれが、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように複数の積層体を成長する工程と、

前記各積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部をそれぞれ形成する工程とを備え、前記複数の積層体を成長する工程は、前記各積層体を、該積層体が前記第1の窒化物半導体層の前記C面を所定数だけ跨ぐごとに前記電流狭窄部からなる共振器端面が露出するよう形成する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項74】 前記共振器端面はA面又はM面であることを特徴とする請求項73に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項75】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記複数の溝部の形成周期を、前記共振器端面が露出する領域が、前記共振器端面が露出しない領域と比べて大きくなるように設定することを特徴とする請求項73に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項76】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項73に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項77】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニア又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項76に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項78】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物からなることを特徴とする請求項73に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項79】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項78に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項80】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマ

スク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上における前記各溝部同士の間に前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、それぞれが、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように複数の積層体を成長する工程と、
前記各積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部をそれぞれ形成する工程とを備え、前記複数の積層体を成長する工程は、前記各積層体を、該積層体が前記第1の窒化物半導体層の隣接する溝部同士の間の領域を所定数だけ跨ぐごとに前記電流狭窄部からなる共振器端面が露出するように形成する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項8 1】 前記共振器端面はA面又はM面であることを特徴とする請求項8 0に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項8 2】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記複数の溝部の形成周期を、前記共振器端面が露出する領域が、前記共振器端面が露出しない領域と比べて大きくなるように設定することを特徴とする請求項8 0に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項8 3】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項8 0に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項8 4】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項8 3に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項8 5】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物からなることを特徴とする請求項8 0に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項8 6】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タンゲステン、モリブデン、ニオブ、タンゲステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項8 5に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項8 7】 基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、

前記第1の窒化物半導体層の上で且つ前記各凸部同士の側面の間に空隙部を持つように形成された第2の窒化物半導体層と、

前記第2の窒化物半導体層の上に形成され、キャリアが狭窄されて注入されるストライプ状の共振器を含む第3の窒化物半導体層とを備え、

前記共振器は、生成光の共振方向が前記凸部が延びる方向とほぼ直交するように設けられていることを特徴とす

る窒化物半導体素子。

【請求項8 8】 前記共振器の端面は、前記第3の窒化物半導体層のA面であることを特徴とする請求項8 7に記載の窒化物半導体素子。

【請求項8 9】 前記第2の窒化物半導体層と前記第3の窒化物半導体層との間に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延び且つその頂面の位置が前記第1の窒化物半導体層の凸部の頂面の位置と基板面方向に異なる複数の凸部を有する第4の窒化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項8 7に記載の窒化物半導体素子。

【請求項9 0】 基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、

前記第1の窒化物半導体層の上で且つ前記各凸部同士の側面の間に空隙部を持つように形成された第2の窒化物半導体層と、

前記第2の窒化物半導体層の上に形成され、活性層を含む第3の窒化物半導体層とを備え、

前記凸部の頂面はC面であり、

前記第1の窒化物半導体層のC軸と前記第2の窒化物半導体層のC軸とがなす角度は、約0.05度以下であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項9 1】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、
前記第1の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて基板面方向の一の方向に延びる複数の第1の溝部を形成する工程と、
前記第1の溝部の底面を覆う第1のマスク膜を形成する

工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上面における前記各第1の溝部同士の間に前記第1のマスク膜から露出するC面を種結晶として、第2の窒化物半導体層を成長する工程と、

前記第2の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて前記一の方向に延び且つ互いに隣接する溝部同士の間の領域の位置が前記第1の溝部同士の間の領域の位置と基板面方向に異なる複数の第2の溝部を形成する工程と、

前記第2の溝部の底面を覆う第2のマスク膜を形成する工程と、

前記第2の窒化物半導体層の上面における前記各第2の溝部同士の間に前記第2のマスク膜から露出するC面を種結晶として、活性層を含む第3の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第3の窒化物半導体層の上に、生成光の共振方向が前記一の方向とほぼ直交するように電流狭窄部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項9 2】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成

する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて基板面方向の一の方向に延びる複数の第1の溝部を形成する工程と、

前記第1の溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆う第1のマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上における前記各第1の溝部同士の間に前記第1のマスク膜から露出する領域を種結晶として、第2の窒化物半導体層を成長する工程と、前記第2の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて前記一の方向に延び且つ互いに隣接する溝部同士の間の領域の位置が前記第1の溝部同士の間の領域の位置と基板面方向に異なる複数の第2の溝部を形成する工程と、

前記第2の溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆う第2のマスク膜を形成する工程と、

前記第2の窒化物半導体層の上における前記各第2の溝部同士の間に前記第2のマスク膜から露出する領域を種結晶として、活性層を含む第3の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第3の窒化物半導体層の上に、生成光の共振方向が前記一の方向とほぼ直交するよう電流狭窄部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項93】 基板上に形成され、上部に間隔をおいて基板面方向に延びる複数の第1の凸部を有する第1の半導体層と、

前記第1の半導体層の上に前記第1の凸部と接するよう形成され、上部に前記第1の凸部が延びる方向と同一で且つ前記第1の凸部同士の間隔と異なる間隔において延びる複数の第2の凸部を有し、活性層を含む積層体からなる第2の半導体層とを備え、

前記複数の第2の凸部のうちの1つの頂面から、前記活性層に対してキャリアが注入されることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項94】 基板上に、第1の半導体層を形成し、形成した第1の半導体層の上部に、基板面方向に間隔をおいて延びる複数の第1の凸部を形成する工程と、

前記第1の半導体層の上に、その下が前記第1の凸部と接すると共に、活性層を含む積層体からなる第2の半導体層を形成し、形成した第2の半導体層の上部に前記第1の凸部が延びる方向と同一で且つ前記第1の凸部同士と異なる間隔において延びる複数の第2の凸部を形成する工程と、

前記複数の第2の凸部のうち、前記活性層にキャリアを注入する凸部を選別するためのマスクの位置合わせ用の目印を前記基板に形成する工程と、

前記目印により前記マスクの位置合わせを行なった後、前記マスクを用いて前記複数の第2の凸部のうちの1つをキャリア注入部とする工程とを備えていることを特徴

とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項95】 前記第1の半導体層及び第2の半導体層は窒化物半導体からなり、

前記第1の凸部を形成する工程は、形成した前記第1の凸部同士の間に挟まれた領域に誘電体膜を形成する工程を含み、

前記目印を形成する工程は、前記目印を、前記第1の凸部と基板面に垂直な方向で重ならず且つ前記第1の凸部の近傍に位置する第2の凸部を認識できるように付する工程を含むことを特徴とする請求項94に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項96】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、前記第1の窒化物半導体層の上面における前記各溝部同士の間に前記マスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含む

ように積層体を成長する工程と、前記積層体の上部に、前記溝部が延びる方向と同一で且つ前記溝部同士の間の間隔と異なる間隔において延びる複数の凸部を形成する工程と、前記複数の凸部のうち、前記溝部の上方で且つ前記溝部同士の間の領域の近傍に位置する凸部を選択して、前記活性層にキャリアを注入するキャリア注入部を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項97】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第1の窒化物半導体層の上に、該第1の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第1の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項96に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項98】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項96に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項99】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項98に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項100】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項98に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 101】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項 98 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 102】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物であることを特徴とする請求項 96 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 103】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タンゲステン、モリブデン、ニオブ、タンゲステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 102 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 104】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、前記溝部の底面とその壁面の少なくとも 1 部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上における前記各溝部同士の間に前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第 2 の窒化物半導体層と、該第 2 の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第 3 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第 4 の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上部に、前記溝部が延びる方向と同一で且つ前記溝部同士の間の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、

前記複数の凸部のうち、前記溝部の上方で且つ前記溝部同士の間の領域の近傍に位置する凸部を選択し、選択した凸部に、前記活性層にキャリアを注入するキャリア注入部を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 105】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第 1 の窒化物半導体層の上に、該第 1 の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第 1 の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項 104 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 106】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 104 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 107】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 106 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 108】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求

項 106 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 109】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項 106 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 110】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化物であることを特徴とする請求項 104 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 111】 前記高融点金属又は高融点金属化物は、タンゲステン、モリブデン、ニオブ、タンゲステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 110 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光情報処理分野等への応用が期待される短波長半導体レーザ素子等に用いる窒化物半導体の製造方法、並びに該窒化物半導体を用いた半導体素子、半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、V 族元素に窒素 (N) を含む III-V 族化合物からなる窒化物半導体は、そのエネルギーギャップの大きさから、短波長発光素子の材料として有望視されている。なかでも、窒化ガリウム系化合物半導体 (A_1, G_a, I_n, N ($0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$)) は、その研究及び開発が盛んに行なわれており、その結果、青色又は緑色発光ダイオード (LED) 素子が実用化されるに至っている。また、光ディスク装置の大容量化に伴って、発振波長が 400 nm 程度の半導体レーザ素子が熱望されており、窒化ガリウム系半導体を用いた半導体レーザ素子が実用レベルに達しつつある。

【0003】 (第 1 の従来例) 以下、第 1 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子について図面を参照しながら説明する。

【0004】 図 3-7 はレーザ発振が達成されている従来の窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図 3-7 に示すように、従来の半導体レーザ素子は、サファイアからなる基板 301 の上に、例えれば有機金属気相成長 (MOVPE) 法により順次形成された、窒化ガリウム (GaN) からなるバッファ層 302、n 型 GaN からなる n 型コンタクト層 303、n 型窒化アルミニウムガリウム (AlGaN) からなる n 型クラッド層 304、n 型 GaN からなる n 型光ガイド層 305、インジウムの組成が異なる窒化ガリウムインジウム (Ga_{1-x}, In_x, N/Ga_{1-x}, In_x, N) (但し、 $0 < y < x < 1$) が積層されてなる多重量子井戸 (MQW) 活性層 306、p 型 GaN からなる p 型光ガイド層 307、p 型 AlGaN からなる p 型クラッド層 308、及び p 型 GaN からなる p 型コンタクト層 309 を有して

いる。

【0005】p型クラッド層308の上部及びp型コンタクト層309には、幅が $3\text{ }\mu\text{m} \sim 10\text{ }\mu\text{m}$ 程度のリッジ部が形成されている。MQW活性層306を含む積層体は、n型コンタクト層303の一部を露出するようにエッチングされており、エッチングされた積層体の上面及び側面は絶縁膜310により被覆されている。絶縁膜310におけるp型コンタクト層309の上側部分にはストライプ状の開口部が設けられ、絶縁膜310のリッジ部の上には該開口部を通してp型コンタクト層309とオーミック接觸するp側電極311が形成されている。また、n型コンタクト層303の絶縁膜310からの露出部分の上にはn型コンタクト層303とオーミック接觸するn側電極312が設けられている。

【0006】このように形成された半導体レーザ素子におけるn側電極312を接地し、p側電極311に所定電圧を印加すると、MQW活性層306内で光学利得を生じて、発振波長が 400 nm 程度のレーザ発振を起こす。

【0007】レーザ光の発振波長は、MQW活性層306を構成する $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ 及び $\text{Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ の組成又は膜厚によって変化する。現在、室温以上での連続発振が実現されている。

【0008】また、リッジ部の幅又は高さを調節することによって、水平方向(基板面に平行)の横モードにおける基本モードのレーザ発振を可能としている。すなわち、基本横モードと1次以上の高次モードとの光の閉じ込め係数値に差を設けることにより、基本横モードにおける発振を可能としている。

【0009】基板301には、サファイアの他に、炭化ケイ素(SiC)やネオジウムガレート(NdGaO₃: Neodymium gallate)等が用いられるが、いずれの材料も窒化ガリウムと格子整合を行なえず、コヒーレントな成長を得ることが難しい。その結果、刃状転位、らせん転位又は異種の転位が混合した混合転位が多く、例えば基板にサファイアを用いた場合には、約 $1 \times 10^9\text{ cm}^{-2}$ の転位が存在して、半導体レーザ素子の信頼性の低下を引き起こす。

【0010】そこで、転位密度を低減する方法として、選択的横方向成長(epitaxial lateral overgrowth: ELOG)法が提案されている。これは格子不整合が大きい半導体結晶において、貫通転位を低減させる方法として有効である。

【0011】(第2の従来例)図38はELOGによって形成された窒化ガリウムからなる半導体層の結晶転位の分布を模式的に表わしている。

【0012】図38を用いてELOG法の概略を説明すると、まず、MOVPE法等により、サファイアからなる基板401上にGaNからなるシード(種)層402を成長する。

【0013】次に、化学的気相堆積(CVD)法等により、酸化シリコン等からなる誘電体膜を堆積した後、フロトリソグラフィ法及びエッチング法とによって、堆積した誘電体膜から、所定周期のストライプ状の開口パターンを持つマスク膜403を形成する。

【0014】次に、MOVPE法又はハライド気相成長(HVPE)法により、マスク膜403の上にシード層402のマスク膜303から露出した部分を種結晶とする選択成長によってGaNからなる半導体層404を成長する。

【0015】このとき、半導体層404におけるマスク膜403の開口部の上側の領域は、転位密度が約 $1 \times 10^9\text{ cm}^{-2}$ 程度の高転位密度領域404aとなるものの、マスク膜403上でラテラル成長した領域は転位密度が $1 \times 10^7\text{ cm}^{-2}$ 程度の低転位密度領域404bを得られる。

【0016】図39はこの低転位密度領域404bの上方に活性領域、すなわち電流注入領域となるリッジ部を形成した半導体レーザ素子の断面構成を示している。図39において、図37及び図38に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付している。

【0017】このように、MQW活性層306における低転位密度領域404bの上方に電流注入領域を設けることにより、レーザ素子の信頼性の向上を図ることができる。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】本願発明者らは、種々検討を行なった結果、前記の第1の従来例及び第2の従来例に係る半導体レーザ素子には、以下に述べるような様々な問題があることを見い出している。

【0019】第1に、第2の従来例に係るELOG法による窒化物半導体の成長方法に対する問題点を説明する。

【0020】図40(a)～図40(d)は半導体層404の成長時にマスク膜403上に窒化ガリウムの多結晶体405が析出して、半導体層404の結晶性が劣化する様子を模式的に表わしている。

【0021】具体的には、図40(a)に示すように、まず、シード層402の上面に開口部を持つマスク膜403を形成しておき、次に、図40(b)に示すように、シード層402におけるマスク膜403の各開口部から露出する領域を種結晶として複数の半導体層404をそれぞれ成長させる。このとき、マスク膜403は誘電体からなり、該誘電体上では結晶化されない複数の多結晶体405が析出することがある。

【0022】次に、図40(c)及び図40(d)に示すように、多結晶体405が析出した状態で、複数の半導体層404が一体化しその表面が平坦化されるまで成長し続けると、多結晶体405の上には結晶性が悪い領域404cが形成される。

【0023】本願発明者らは、この結晶性が悪い領域404の上方に電流注入領域を形成しても良好な特性を持つレーザ素子を決して得ることはできないという知見を得ている。

【0024】第2に、第1及び第2の従来例に係る半導体レーザ素子では、活性層の基板面に対して垂直な方向の光の閉じ込め係数値を大きくすることが困難であるという問題点を見出している。

【0025】図41は、第1の従来例に係る半導体レーザ素子における、MQW活性層306における基板面に対して垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面での光強度分布との関係を示している。MQW活性層306に閉じ込められた生成光の一部が基板301に漏れ出して、n型コンタクト層303に定波が生成していることが分かる。このように、MQW活性層306から基板301への生成光の漏れが多いと、MQW活性層306への光の閉じ込め率が低下し、レーザ光の発振しきい値が大きくなる。

【0026】また、図42は第1の従来例に係るレーザ素子の遠視野像を示している。ここで、横軸は出射光における共振器端面の法線方向からの水平方向（基板面方向）へのずれを表わし、縦軸は出射光の光強度を表わしている。第1の従来例のように基板301側への生成光の漏れが多いと、単峰性の遠視野像を得ることも困難となる。これは、第2の従来例に係る半導体レーザ素子においても同様である。

【0027】第3に、第1の従来例に係る半導体レーザ素子は、ウェハ状態で形成された複数のレーザ素子を、例えば、へき開により個々のレーザチップとして形成する際に、サファイアからなる基板と窒化物半導体層との結晶面が異なるために、共振器端面に平坦な面が得られないという問題がある。すなわち、図43に示すように、基板301を構成するサファイアは、面方位が(1-100)面の、いわゆるM面のへき開が容易であるため、通常はサファイアのM面をへき開面としている。

【0028】ところが、窒化物半導体、例えば、窒化ガリウムのM面はサファイアのM面と面内で30度だけずれているため、サファイアのM面と窒化ガリウムの(1-20)面、いわゆるA面が一致する。このため、基板301をへき開するとバッファ層302及びその上の積層体には、基板301とへき開面が30度だけずれたへき開面が、段差が数百nmの凹凸面となって現われる。

【0029】共振器端面がこのような凹凸面となると、共振器端面によるレーザ光のミラー損失が増大するため、半導体レーザ素子の動作電流が増大し、ひいては信頼性の低下をもたらす。さらに、共振器端面の凹部及び凸部は無秩序に発生するため、所定の反射率を有する共振器端面を再現性良く形成することが困難となり、歩留まりが低下する。なお、共振器の形成に、へき開法では

なくドライエッチング法を用いても同様の問題が生じる。なお、本願明細書においては、面方位の負符号”-”は該負符号に続く一指数の反転を表わす。

【0030】一方、第2の従来例に係る半導体レーザ素子の場合は、選択成長用のマスク膜403のストライプ状の開口部は、半導体層404のM軸に平行となるよう形成される。これはA軸方向へのラテラル成長の速度が他の方向と比べて極めて速く、短時間で効率良く選択成長を行なえるからである。このため、低転位密度領域404bはM軸に平行となるので、低転位密度領域の上に形成するレーザ素子の共振器端面は必然的にM面となる。その結果、基板401のA面でへき開する必要がある。前述したように、サファイアはM面におけるへき開は容易であるが、A面はそれ程容易ではないため、半導体レーザ素子の歩留まりが大幅に低下するという問題がある。

【0031】第4に、ELOG法は、シード層402のC軸と、その上に選択成長する半導体層404のC軸とのなす角度（チルト）が0.1度～1度程度に存在することが知られている。

【0032】一方、ELOG法によって得られた低転位密度領域404bを再度種結晶とし、高転位密度領域404aを別の選択成長用マスク膜により被覆して再度ELOG成長を行なうと、低転位密度領域404bのみからなる窒化物半導体結晶を得ることができる。これにより、低転位密度領域404bのみからなる結晶上に端面がA面の共振器を形成することが可能となり、へき開による歩留まりを大幅に向かうことができる。

【0033】しかしながら、A軸方向に共振器を形成すると、シード層402とその上の選択成長層との間に、前述したC軸のチルトが存在するため、導波路がC軸方向にジグザグ形状となる。このジグザグ形状の導波路により、導波損失が生じてレーザ素子の動作電流が増加するという問題がある。また、複数の共振器が基板面に対してそれぞれ垂直な方向に設けられる垂直共振器型の面発光レーザ素子アレイを形成するような場合には、アレイ状の共振器からの各レーザ光の出射方向が一致しなくなるという問題がある。

【0034】第5に、前記第2の従来例に係る半導体レーザ素子は、低転位密度領域404b同士の幅が約5μm程度と極めて小さく、この低転位密度領域404bから外れないように、約3μmの幅を持つリッジ部のフォトマスクの位置合わせを行なう必要がある。その結果、フォトリソグラフィ工程における位置合わせに高い精度が要求されるため、フォトリソグラフィ工程のスループットの低下や歩留まりの低下等が生じて、生産効率を向上できないという問題がある。

【0035】本発明は、前記の種々の問題に鑑みてなされ、ELOG法による結晶性の向上を図ること第1の目的とし、共振器への光の閉じ込め係数値を大きくできる

ようにすることを第2の目的とし、ミラー損失が少ない共振器端面を形成できるようにすることを第3の目的とし、導波損失が少ない共振器を形成できるようにすることを第4の目的とし、リッジ部形成用のマスクの位置合わせを容易に行なえるようすることを第5の目的とする。これにより、本発明は、特に光ディスク装置用レーザ素子への応用に優れた効果を奏する。

【0036】

【課題を解決するための手段】本発明に係る第1の窒化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に、 A_1, Ga, In, N (但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u + v + w = 1$ である。) からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上に、マスク膜から露出する各凸部の頂面であるC面を種結晶として、 A_1, Ga, In, N (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ である。) からなる第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備えている。

【0037】第1の窒化物半導体の製造方法によると、第1の窒化物半導体層の上面に複数の凸部を形成し、形成した凸部同士に挟まれた底面をマスク膜により覆うため、第2の窒化物半導体層は第1の窒化物半導体層の凸部の頂面に現われたC面のみを種結晶として成長する。その結果、マスク膜の上に第2の窒化物半導体層の多結晶体が析出したとしても、マスク膜を凸部同士の間の底面上に設けているため、第2の窒化物半導体層が基板面と平行な方向に成長(ラテラル成長)する際に、多結晶体の上方を成長するので、多結晶体によりその成長が妨げられなくなり、第2の窒化物半導体層の結晶性が良好となる。

【0038】本発明に係る第2の窒化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に、 A_1, Ga, In, N (但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u + v + w = 1$ である。) からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に挟まれてなる凹部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上に、各凸部におけるマスク膜から露出する領域を種結晶として、 A_1, Ga, In, N (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ である。) からなる第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備えている。

【0039】第2の窒化物半導体の製造方法によると、第2の窒化物半導体層が基板面と平行な方向に成長する際に、マスク膜の上に第2の窒化物半導体層の多結晶体

が析出したとしても、マスク膜を凸部同士の間の底面及び壁面の少なくとも一部に設けているため、第2の窒化物半導体層は多結晶体の上方を成長するので、多結晶体によりその成長が妨げられなくなり、第2の窒化物半導体層の結晶性が良好となる。

【0040】本発明に係る第1の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各溝部同士の間にマスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

【0041】第1の窒化物半導体素子の製造方法によると、活性層を含む積層体は本発明の第1の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、活性層及びそれを上下方向から挟む窒化物半導体層のそれぞれの結晶性が優れる。このため、半導体素子としての信頼性を著しく向上することができる。

【0042】本発明に係る第2の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上における各溝部同士の間にマスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

【0043】第2の窒化物半導体素子の製造方法によると、活性層を含む積層体は本発明の第2の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、活性層及びそれを上下方向から挟む窒化物半導体層のそれぞれの結晶性が優れる。このため、半導体素子としての信頼性を著しく向上することができる。

【0044】本発明に係る第3の窒化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板の上部に、基板面方向に互いに並行して延びる複数の凸部を形成する工程と、基板の上の各凸部の頂面に、 A_1, Ga, In, N (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ である。)

$z = 1$ である。) からなる窒化物半導体層を選択的に成長する工程とを備えている。

【0045】第3の窒化物半導体の製造方法によると、本発明の第1の窒化物半導体の製造方法と同様の効果を得られる上に、基板自体にストライプ状の凸部を設けるため、種結晶用の半導体層が不要となる。また、基板に窒化物半導体を用いない場合には選択成長用のマスク膜をも設ける必要がなくなり、半導体の製造プロセスを大幅に簡略化できる。

【0046】本発明に係る第3の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、基板の上面における各溝部同士の間の領域上に、基板側から選択的に、第1の窒化物半導体層と、該第1の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第2の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第3の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上面に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

【0047】第3の窒化物半導体素子の製造方法によると、活性層を含む積層体は本発明の第3の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、活性層及びそれを上下方向から挟む窒化物半導体層のそれぞれの結晶性が優れると共に、製造プロセスを大幅に簡略化できるので、生産性を向上することができる。

【0048】本発明に係る第1の窒化物半導体素子は、前記第2の目的を達成し、基板上に順次形成され、第1の窒化物半導体層、該第1の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第2の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第3の窒化物半導体層とを含む積層体と、積層体の上面に形成され、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部とを備え、活性層における電流狭窄部の下方で且つ活性層と基板との間の領域に空隙部が形成されている。

【0049】第1の窒化物半導体素子によると、活性層における電流狭窄部の下方であって活性層と基板との間の領域に、光の屈折率が半導体よりも小さい空隙部を設けているため、活性層で生成された生成光が基板側に漏れにくくなるので、活性層への生成光の閉じ込め係数値を大きくできる。

【0050】本発明に係る第2の窒化物半導体素子は、前記第2の目的を達成し、基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層の上面に、下面が各凸部の頂面と接するように形成された第2の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層の上面に形成され、第3の窒化物半導体層、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の

窒化物半導体層とを含む積層体とを備え、第2の窒化物半導体層は、第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さい又は同等の屈折率を持つ。

【0051】第2の窒化物半導体素子によると、第2の窒化物半導体層は、上部にストライプ状の凸部を有する第1の窒化物半導体層の凸部の頂面を種結晶として成長しているため、第2の窒化物半導体層の下側で且つ第1の窒化物半導体層の凸部同士の間の領域には空隙部が形成されることになる。さらに、第2の窒化物半導体層は、第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つため、積層体における空隙部の上方に電流狭窄部を設けると、活性層における光の閉じ込め係数値が確実に大きくなる。

【0052】本発明に係る第4の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第2の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各溝部同士の間にマスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層と、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上面に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備え、積層体を成長する工程は、第2の窒化物半導体層を、その光の屈折率が第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等となるよう成長する工程を含む。

【0053】第4の窒化物半導体素子の製造方法によると、本発明の第2の窒化物半導体素子を確実に形成できる。

【0054】本発明に係る第5の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第2の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各溝部同士の間にマスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層と、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上面に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備え、積層体を成長する工程は、第2の窒化物半導体層を、その光の屈折率が第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等となるよう成長する工程を含む。

【0055】第5の窒化物半導体素子の製造方法によると、本発明の第2の窒化物半導体素子を確実に形成できる。

【0056】本発明に係る第4の窒化物半導体の製造方法は、前記第3の目的を達成し、基板上に、 A_1, Ga, In, N (但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u + v + w = 1$ である。) からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上に、マスク膜から露出する各凸部の頂面であるC面を種結晶として、 A_1, Ga, In, N (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ である。) からなる複数の第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備え、複数の第2の窒化物半導体層を形成する工程は、各第2の窒化物半導体層を、各第2の窒化物半導体層が複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに該凸部が延びる方向と平行な側端面が露出するように形成する工程を含む。

【0057】第4の窒化物半導体の製造方法によると、第2の窒化物半導体層のそれぞれを、第1の窒化物半導体層の上部に設けられた複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに該凸部が延びる方向と平行な側端面が露出するように形成するため、該側端面を共振器端面とすれば、該共振器端面がへき開面やエッティング面に影響されなくなるので、共振器端面のミラー損失を低減できる。

【0058】本発明に係る第5の窒化物半導体の製造方法は、前記第3の目的を達成し、基板上に、 A_1, Ga, In, N (但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u + v + w = 1$ である。) からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に挟まれてなる凹部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上に、各凸部におけるマスク膜から露出する領域を種結晶として、 A_1, Ga, In, N (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ である。) からなる複数の第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備え、複数の第2の窒化物半導体層を形成する工程は、各第2の窒化物半導体層を、各第2の窒化物半導体層が複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに該凸部が延びる方向と平行な側端面が露出するように形成する工程を含む。

【0059】第5の窒化物半導体の製造方法によると、第2の窒化物半導体層のそれぞれを、第1の窒化物半導体層の上部に設けられた複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに該凸部が延びる方向と平行な側端面が露

出するように形成するため、該側端面を共振器端面とすれば、該共振器端面がへき開面やエッティング面に影響されなくなるので、共振器端面のミラー損失を低減できる。

【0060】本発明に係る第6の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第3の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各溝部同士の間にマスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、それが、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように複数の積層体を成長する工程と、各積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部をそれぞれ形成する工程とを備え、複数の積層体を成長する工程は、各積層体を、該積層体が第1の窒化物半導体層のC面を所定数だけ跨ぐごとに電流狭窄部からなる共振器端面が露出するように形成する工程を含む。

【0061】第6の窒化物半導体素子の製造方法によると、それぞれ活性層を含む各積層体は、本発明の第4の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、共振器端面がへき開面やエッティング面に影響されなくなるので、共振器端面のミラー損失を低減できる。

【0062】本発明に係る第7の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第3の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上における各溝部同士の間にマスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、それが、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように複数の積層体を成長する工程と、各積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部をそれぞれ形成する工程とを備え、複数の積層体を成長する工程は、各積層体を、該積層体が第1の窒化物半導体層の隣接する溝部同士の間の領域を所定数だけ跨ぐごとに電流狭窄部からなる共振器端面が露出するように形成する工程を含む。

【0063】第7の窒化物半導体素子の製造方法によると、それぞれ活性層を含む各積層体は、本発明の第5の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、共振器端面がへき開面やエッティング面に影響されなくなるの

で、共振器端面のミラー損失を低減できる。

【0064】本発明に係る第3の窒化物半導体素子は、前記第3及び第4の目的を達成し、基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層の上で且つ各凸部同士の側面の間に空隙部を持つように形成された第2の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層の上に形成され、キャリアが狭窄されて注入されるストライプ状の共振器を含む第3の窒化物半導体層とを備え、共振器は生成光の共振方向が凸部が延びる方向とほぼ直交するように設けられている。

【0065】第3の窒化物半導体素子によると、生成光の共振方向が凸部が延びる方向とほぼ直交するように共振器を設けているため、例えば、凸部が延びる方向をM軸方向とし、共振器の共振方向をA軸方向とすると共振器端面はA面となる。従って、基板にサファイアを用いた場合には、基板のへき開面がM面となり、へき開が容易となって、へき開時の歩留まりが向上する。また、この場合の共振器は、種結晶となる複数の凸部と交差するが、第1の窒化物半導体層は各凸部同士の側面の間に空隙部を持つため、第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層とのC軸のチルトが抑制されるので、導波損失も低減する。

【0066】本発明に係る第4の窒化物半導体素子は、基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層の上で且つ各凸部同士の側面の間に空隙部を持つように形成された第2の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層の上に形成され、活性層を含む第3の窒化物半導体層とを備え、第1の窒化物半導体層の凸部の頂面はC面であり、第1の窒化物半導体層のC軸と第2の窒化物半導体層のC軸とがなす角度(チルト角)は、約0.05度以下である。

【0067】第4の窒化物半導体素子によると、第2の窒化物半導体層が空隙部を形成しながら成長するラテラル成長により成長した際に、チルト角が0.05度以下であるため、活性層を含む第3の半導体層に導波路を設ける場合であっても、該導波路が基板面に対して垂直な方向にうねるジグザグ形状となることが防止されるので、導波路における導波損失を低減することができる。

【0068】本発明に係る第8の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第3及び4の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて基板面方向の一方に延びる複数の第1の溝部を形成する工程と、第1の溝部の底面を覆う第1のマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各第1の溝部同士の間に第1のマスク膜から露出するC面を種結晶として、第2の窒化物半導体層を成長する工程と、第2の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて一の方向に延び且つ互いに隣接する溝部同士の間に第2のマスク膜を形成する工程と、第2の溝部の底面を覆う第2のマスク膜を形成する工程と、第2の溝部の上面における各第2の溝部同士の間に第2のマスク膜から露出するC面を種結晶として、活性層を含む第3の窒化物半導体層を形成する工程と、第3の窒化物半導体層の上に、生成光の共振方向が一の方向とほぼ直交するように電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

に延び且つ互いに隣接する溝部同士の間に領域の位置が第1の溝部同士の間に領域の位置と基板面方向に異なる複数の第2の溝部を形成する工程と、第2の溝部の底面を覆う第2のマスク膜を形成する工程と、第2の溝部の上面における各第2の溝部同士の間に第2のマスク膜から露出するC面を種結晶として、活性層を含む第3の窒化物半導体層を形成する工程と、第3の窒化物半導体層の上に、生成光の共振方向が一の方向とほぼ直交するように電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

【0069】第8の窒化物半導体素子の製造方法によると、本発明の第3の窒化物半導体素子を確実に得ることができる。

【0070】本発明に係る第9の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第3及び4の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて基板面方向の一方に延びる複数の第1の溝部を形成する工程と、第1の溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆う第1のマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上における各第1の溝部同士の間に第1のマスク膜から露出する領域を種結晶として、第2の窒化物半導体層を成長する工程と、第2の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて一の方向に延び且つ互いに隣接する溝部同士の間に領域の位置が第1の溝部同士の間に領域の位置と基板面方向に異なる複数の第2の溝部を形成する工程と、第2の溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆う第2のマスク膜を形成する工程と、第2の窒化物半導体層の上における各第2の溝部同士の間に第2のマスク膜から露出する領域を種結晶として、活性層を含む第3の窒化物半導体層を形成する工程と、第3の窒化物半導体層の上に、生成光の共振方向が一の方向とほぼ直交するように電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

【0071】第9の窒化物半導体素子の製造方法によると、本発明の第3の窒化物半導体素子を確実に得ることができる。

【0072】本発明に係る半導体発光素子は、前記第5の目的を達成し、基板上に形成され、上部に間隔をおいて基板面方向に延びる複数の第1の凸部を有する第1の半導体層と、第1の半導体層の上に第1の凸部と接するように形成され、上部に第1の凸部が延びる方向と同一で且つ第1の凸部同士の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の第2の凸部を有し、活性層を含む積層体からなる第2の半導体層とを備え、複数の第2の凸部のうちの1つの頂面から、活性層に対してキャリアが注入される。

【0073】一般に、ELOG法により得られる第2の半導体層は、第1の凸部の上側の領域に貫通転位が多く存在するため、その領域を避けて電流注入領域を設ける

必要がある。本発明の半導体発光素子によると、第1の凸部の形成周期と第2の凸部の形成周期との間に差が設けられているため、基板上には、これらのいずれの形成周期よりも大きい周期で第1の凸部と第2の凸部とが一致する領域が現われる。この大きい周期を用いれば、位置合わせ用の目印を容易に且つ確実に付けることができるので、製造プロセスの歩留まり及びスループットが向上する。

【0074】本発明に係る第1の半導体発光素子の製造方法は、前記第5の目的を達成し、基板上に、第1の半導体層を形成し、形成した第1の半導体層の上部に、基板面方向に間隔をおいて延びる複数の第1の凸部を形成する工程と、第1の半導体層の上に、その下面が第1の凸部と接すると共に、活性層を含む積層体からなる第2の半導体層を形成し、形成した第2の半導体層の上部に第1の凸部が延びる方向と同一で且つ第1の凸部同士と異なる間隔をおいて延びる複数の第2の凸部を形成する工程と、複数の第2の凸部のうち、活性層にキャリアを注入する凸部を選別するためのマスクの位置合わせ用の目印を基板に形成する工程と、目印によりマスクの位置合わせを行なった後、マスクを用いて複数の第2の凸部のうちの1つをキャリア注入部とする工程とを備えている。

【0075】第1の半導体発光素子の製造方法によると、本発明の半導体発光素子を確実に得ることできる。

【0076】本発明に係る第2の半導体発光素子の製造方法は、前記第5の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各溝部同士の間にマスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上部に、溝部が延びる方向と同一で且つ溝部同士の間の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、複数の凸部のうち、溝部の上方で且つ溝部同士の間の領域の近傍に位置する凸部を選択して、活性層にキャリアを注入するキャリア注入部を形成する工程とを備えている。

【0077】第2の半導体発光素子の製造方法によると、本発明の半導体発光素子を確実に得ることできる。

【0078】本発明に係る第3の半導体発光素子の製造方法は、前記第5の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面とその壁面の少なくとも1部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒

化物半導体層の上における各溝部同士の間にマスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上部に、溝部が延びる方向と同一で且つ溝部同士の間の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、複数の凸部のうち、溝部の上方で且つ溝部同士の間の領域の近傍に位置する凸部を選択し選択した凸部に、活性層にキャリアを注入するキャリア注入部を形成する工程とを備えている。

【0079】第3の半導体発光素子の製造方法によると、本発明の半導体発光素子を確実に得ることできる。

【0080】

【発明の実施の形態】(第1の実施形態) 本発明の第1の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0081】図1は本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。

【0082】図1に示すように、サファイア(結晶性 Al_2O_3)からなる基板11上には、窒化ガリウム(GaN)からなる低温バッファ層(図示せず)を介して、ELOG用のGaNからなるシード層12が形成されている。

【0083】シード層12の上部には、基板面方向に互いに間隔をおいて延びるストライプ状の凸部12aが形成され、凸部12a同士に挟まれてなる各凹部(溝部)12bの底面及び壁面上には窒化シリコン(SiN_x)からなるマスク膜13がそれぞれ形成されている。

【0084】シード層12の上には、各凸部12aと接するようにGaNからなる選択成長層14がその下面と溝部12bの底面との間に空隙部12cが設けられるよう形成されている。

【0085】ここで、シード層12及び選択成長層14のIII族元素には、ガリウムに限らず、アルミニウム又はインジウムを含んでいてもよい。すなわち、シード層12及び選択成長層14は、Al, Ga, In, N(ただし、u, v, wは、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u + v + w = 1$ である。)を満たせばよい。

【0086】選択成長層14上には、レーザ素子を構成するダブルヘテロ接合を含む複数の窒化物半導体層からなる積層体30が形成されている。

【0087】すなわち、積層体30は、選択成長層14の上に順次形成され、n型GaNからなるn型コンタクト層15、n型Al_{0.1}~_{0.9}GaN_{0.9}~_{0.1}Nからなるn型クラッド層16、n型GaNからなるn型光ガイド層17、厚さが約3nmのGaN_{0.1}~_{0.9}In_{0.1}~_{0.9}Nからなる井戸層と厚さが約6nmのGaNからなるバリア層により構成された多重量子井戸(MQW)活性層18、p型GaNからなるp型光ガイド層19、p型Al_{0.1}~_{0.9}GaN_{0.9}~_{0.1}Nからな

るp型クラッド層20、及びp型GaNからなるp型コンタクト層21を有している。

【0088】知られているように、ダブルヘテロ接合型のレーザ構造は、MQW活性層18におけるインジウムを含む井戸層のエネルギーギャップが、アルミニウムを含むn型及びp型クラッド層16、20のエネルギーギャップよりも小さい。一方、光の屈折率は、MQW活性層18の井戸層が最も大きく、以下、光ガイド層17、19、クラッド層16、20の順に小さくなる。

【0089】p型クラッド層20の上部及びp型コンタクト層21は、幅が3μm～5μm程度の電流注入領域で、電流狭窄部となるリッジ部31が形成されている。

【0090】MQW活性層18を含む積層体30は、n型コンタクト層15の一部を露出するようにエッチングされており、エッチングされた積層体30の上面及び側面は酸化シリコンからなる絶縁膜22により覆われている。

【0091】絶縁膜22におけるp型コンタクト層21の上側には凸部12aと平行な開口部が設けられ、絶縁膜22上のリッジ部31の上側及び側方の領域には、開口部を通してp型コンタクト層21とオーミック接触するニッケル(Ni)と金(Au)との積層体からなるp側電極23が形成されている。

【0092】n型コンタクト層15の絶縁膜22からの露出部分の上にはn型コンタクト層15とオーミック接觸するチタン(Ti)とアルミニウム(Al)との積層体からなるn側電極24が形成されている。

【0093】ここで、リッジ部31は空隙部12cの上方に位置する、結晶転位が少ない低転位密度領域に形成されている。

【0094】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0095】図2(a)、図2(b)～図4は本発明の第1の実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0096】まず、図2(a)に示すように、例えば、MOVPE法を用いて、基板温度を約500°C～530°Cに設定した後、C面(= (0001)面)を主面とする基板11上に、III族源のトリメチルガリウム(TM G)と、窒素源のアンモニア(NH₃)とを供給して、GaNからなる低温バッファ層(図示せず)を堆積する。続いて、基板温度を約1020°C～1030°Cまで昇温した後、TMGとNH₃とを基板11上に供給することにより、GaNからなるシード層12を成長する。

【0097】次に、図2(b)に示すように、シード層12の上面にレジスト膜を塗布した後、塗布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法によりストライプ状にパターニングを行なって、レジストパターン40を形成す

る。続いて、レジストパターン40をマスクとして、シード層12に対してドライエッチングを行なうことにより、シード層12の上部に、断面幅が約3μmの凸部12aと断面幅が約12μmの溝部(リセス部)12bとを1周期とする周期構造体を形成する。

【0098】次に、図3(a)に示すように、電子サイクロotron共鳴(ECR)スペッタ法を用いて、シード層12における溝部12bの底面及び壁面とレジストパターン40上に、窒化シリコンからなるマスク膜13を堆積する。ここで、シリコンの原料には、固体シリコンを用い、反応性ガスには窒素を用い、プラズマガスにはアルゴンを用いている。このように、マスク膜13の堆積にECRスペッタ法を用いることにより、低温で良質のマスク膜13を得ることができる。

【0099】次に、図3(b)に示すように、レジストパターン40に対してリフトオフを行なって、レジストパターン40及び該レジストパターン40上のマスク膜13を除去する。なお、マスク膜13は、溝部12bの壁面の全面を覆っていてもよく、壁面の一部を覆っていてもよい。

【0100】次に、図4に示すように、再度MOVPE法を用いて、シード層12の上に、マスク膜13から露出する凸部12aの頂面に現われるC面を種結晶として、GaNからなる選択成長層14を成長する。このとき、選択成長層14は、各凸部12aの頂面から上方に成長すると共に、基板面に平行な方向にも成長(ラテラル成長)して、各溝部12bの両側から成長してきた結晶体同士の互いに対向する側面が溝部12bのほぼ中央部で接合して接合部14aを形成する。これにより、複数の凸部12aの頂面から成長する各結晶体は一体化され、且つ、その上面はC面となる。続いて、一体化された選択成長層14の上に、n型コンタクト層15、n型クラッド層16、n型光ガイド層17、MQW活性層18、p型光ガイド層19、p型クラッド層20及びp型コンタクト層21を順次成長して積層体30を形成する。

【0101】その後、図1に示すように、p型クラッド層20の上部及びp型コンタクト層21に対して、MQW活性層18に選択的に電流を注入するリッジ部31を、空隙部12cの上方で且つ接合部14aと重ならない領域からなる低転位密度領域に形成する。

【0102】続いて、積層体30におけるリッジ部31を含まない領域に対してドライエッチングを行なって、n型コンタクト層15を露出した後、積層体30の露出面に絶縁膜22を堆積する。その後、絶縁膜22における、リッジ部31の上側部分及びn型コンタクト層15の上側部分にそれぞれ開口部を選択的に設けた後、蒸着法又はスペッタ法等により、リッジ部31における絶縁膜22の開口部からの露出領域及びその側方上面にp側電極23を形成し、n型コンタクト層15における絶縁膜

2 2 の開口部からの露出領域上に n 側電極 2 4 を形成する。

【 0 1 0 3 】 このようにして得られた半導体レーザ素子に対して、 p 側電極 2 3 と n 側電極 2 4 との間に順方向の所定電圧を印加すると、 MQW 活性層 1 8 に向かって、 p 側電極 2 3 から正孔が注入されると共に n 側電極 2 4 から電子が注入され、 MQW 活性層 1 8 において光学利得を生じて、発振波長が約 4 0 4 nm のレーザ発振を起こす。

【 0 1 0 4 】 図 5 に示すように、選択成長層 1 4 における種結晶の上側の領域、すなわち、凸部 1 2 a の上側の領域は、転位密度が約 1×10^9 cm⁻² と高転位密度領域 1 4 b が形成される。一方、ラテラル成長した領域は転位密度が 1×10^7 cm⁻² 程度の低転位密度領域 1 4 c となる。従って、積層体 3 0 における低転位密度領域 1 4 c の上方に、リッジ部 3 1 、すなわちレーザ光の共振器となる電流注入領域を形成することにより、レーザ素子の信頼性を向上することができる。

【 0 1 0 5 】 本実施形態の特徴であるシード層 1 2 の溝部 1 2 b の効果について図 6 (a) ~ 図 6 (d) を参照しながら説明する。

【 0 1 0 6 】 図 6 (a) に示すように、シード層 1 2 の上部にストライプ状の溝部 1 2 b を形成し、続いて、溝部の少なくとも底面上にマスク膜 1 3 を形成する。

【 0 1 0 7 】 次に、図 6 (b) 及び図 6 (c) に示すように、溝部 1 2 b 同士に挟まれてなる凸部 1 2 a の頂面を種結晶として選択成長層 1 4 を成長させると、マスク膜 1 3 の上に GaN からなる多結晶体 4 1 が析出する場合がある。

【 0 1 0 8 】 次に、図 6 (d) に示すように、多結晶体 4 1 が析出したまま ELO 成長を続けて、選択成長層 1 4 が一体化されたとしても、種結晶である凸部 1 2 a の頂面と、多結晶体 4 1 が析出した溝部 1 2 b の底面との間には段差部が形成されているため、多結晶体 4 1 は選択成長層 1 4 及び積層体 3 0 の結晶性に何ら影響を及ぼすことがない。その結果、積層体 3 0 の結晶性のばらつきを大きく低減でき、半導体レーザ素子の製造の歩留まりを大きく向上することができる。

【 0 1 0 9 】 ところで、図 1 に示した選択成長層 1 4 及び積層体 3 0 を基板面に垂直な方向に貫く接合部 1 4 a は、刃状転位が集中して小傾角粒界を形成している。従って、 n 側電極 2 4 から注入された電子は複数の接合部 1 4 a を横切って MQW 活性層 1 8 に到達することになるが、接合部 1 4 a に集中した転位が電子の注入を妨げることはない。

【 0 1 1 0 】 また、半導体レーザ素子をチップ状に形成する際には、共振器のミラー面となる共振器端面を形成する必要がある。一般に、半導体レーザ素子の共振器端面は基板 1 1 をへき開することによって形成するが、へき開時には基板 1 1 に傷やクラックが生じることがある。

る。

【 0 1 1 1 】 図 3 9 に示した第 2 の従来例に係る製造方法は、基板 4 0 1 と最下層の半導体層 4 0 4 とが接触しているために、基板 4 0 1 に生じた傷は MQW 活性層 3 0 6 を含む積層体にまで達し、レーザ素子の動作及び光学特性を大きく損ねるといった不具合を生じる。

【 0 1 1 2 】 一方、本実施形態においては、基板 1 1 と積層体 3 0 との間に空隙部 1 2 c を設けているため、基板 1 1 に生じた傷を空隙部 1 2 c でとどめることができる。このため、基板 1 1 に生じた傷によって積層体 3 0 が不具合を被る虞を著しく低減できる。

【 0 1 1 3 】 また、図 3 7 に示した第 1 の従来例に係る製造方法は、サファイアや炭化ケイ素からなる基板 3 0 1 上に窒化物半導体層を成長させると、結晶の転位密度が約 10^9 cm⁻² と多くなる。このような高転位密度を有する半導体結晶は、ステップフロー成長する際に、高密度の転位、特にらせん転位によって結晶表面のステップが終端され、結晶表面にマイクロファセットが形成される。このため、結晶表面の凹凸が大きくなつて平坦性が悪い結晶となってしまう。その結果、インジウムを含む MQW 活性層 3 0 6 を成長する際に、原料のインジウムが成長中の結晶内に取り込まれる量にばらつきが生じてしまい、レーザ素子のしきい値電流が増大する等の悪影響が生じる。

【 0 1 1 4 】 本実施形態に係る製造方法によると、図 5 に示した、ラテラル成長領域、すなわち低転位密度領域 1 4 c において、一様なステップフロー成長を観察しており、結晶表面の平坦性が良好である。その結果、 MQW 活性層 1 8 を成長する際にも、インジウムの局所的な偏析が生じないので、しきい値電流の低減を図ることができる。

【 0 1 1 5 】 なお、本実施形態においては、窒化物半導体の成長方法に MOVPE 法を用いたが、これに限定されない。 MOVPE 法に代えて、ハイドライド気相成長 (HVPE) 法又は分子線エピタキシ (MBE) 法等の、窒化物半導体を成長可能な方法であればよい。後述の各実施形態においても同様である。

【 0 1 1 6 】 また、基板 1 1 にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガリート (NGO) 又は窒化ガリウム等を用いてもよい。

【 0 1 1 7 】 また、シード層 1 2 は、基板 1 1 との間に低温バッファ層を介した 2 段階成長によって形成したが、シード層 1 2 に単結晶を得られる方法であれば、低温バッファ層は必ずしも必要ではない。

【 0 1 1 8 】 また、シード層 1 2 の上部の凸部 1 2 a の形成にリフトオフ法を用いたが、凸部 1 2 a 及び溝部 1 2 b が形成でき、該溝部 1 2 b の少なくとも底面にマスク膜 1 3 が残る方法であれば、他の方法を用いてもよい。すなわち、凸部 1 2 a におけるマスク 1 3 により覆われていない領域のうちの C 面を種結晶として、空隙部

12cが形成される方法であれば良い。さらには、凸部12aをシード層12の上部を掘り込むリセスエッチによって形成する代わりに、シード層12の平坦な上面に、ストライプ状の開口パターンを持つ選択成長用のマスク膜を形成し、そのマスク膜の開口パターンから突出して成長した凸部を用いてもよい。

【0119】また、マスク膜13は、空隙部12cが形成されればよく、溝部12bの底面上にのみ形成してもよい。

【0120】また、マスク膜13の材料に窒化シリコンを用いたが、窒化シリコンに代えて、他の誘電体膜又は非晶質の絶縁膜を用いてもよい。具体的には、酸化シリコン(SiO_2)、酸化窒化シリコン(SiON)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化酸化アルミニウム(AlNO)、酸化チタン(TiO_2)、酸化ジルコニア(ZrO_2)又は酸化ニオブ(Nb_2O_5)を用いてもよい。これらの膜はECRスパッタ法を用いることにより、比較的容易に形成することができる。

【0121】(第1の実施形態の第1変形例)以下、本発明の第1の実施形態の第1変形例として、マスク膜に高融点金属又は高融点金属化物を用いる例を説明する。

【0122】選択成長用のマスク膜13に、高融点金属であるタンゲステン(W)を用いると、マスク膜13に誘電体を用いる場合と比べて結晶成長の選択性が向上し、マスク膜13上の多結晶体41の析出がより抑えられる。これにより、多結晶体41の影響を受けない高品質な積層体30を極めて容易に形成することができる。

【0123】これは金属からなるマスク膜13の方が誘電体からなるマスク膜13と比べて、窒化物半導体結晶との結合力が弱いことに起因する。

【0124】また、高融点金属であるタンゲステンは、その融点が3380°Cと、金属で最も融点が高く且つ蒸気圧も低くて特性が安定しているため、酸化シリコン等の誘電体を用いた場合のシリコンや酸素等の不純物が選択成長層14へ混入する虞がない。このため、タンゲステンからなるマスク膜13を用いて成長した選択成長層14には深い準位や非発光中心が形成されない。

【0125】図7は誘電体からなるマスク膜13を用いた選択成長層14と、高融点金属からなるマスク膜13を用いた選択成長層14との室温でのフォトルミネッセンスを比較した結果を示している。

【0126】図7に示すように、第1変形例に係る選択成長層14は波長が430nm付近の深い準位からの発光もなく、極めて強いバンド端発光を得られている。これにより、第1の実施形態に係る選択成長層14と比べて、より高品質な結晶体を得られることが分かる。従って、このような高品位な選択成長層14の上に積層体30を成長すれば、より発光効率が高いMQW活性層18を形成することができる。

【0127】なお、第1変形例に係るマスク膜13にタ

ングステンを用いたが、代わりに、他の高融点金属又は高融点金属化物を用いてもよい。例えば、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)、タンゲステンシリサイド(WSi_x)、モリブデンシリサイド(MoS_x)又はニオブシリサイド(NbSi_x)を用いてもよい。これらの膜は、電子ビーム蒸着法又はスパッタ法を用いることにより、比較的容易に得ることができる。

【0128】(第1の実施形態の第2変形例)図8は本発明の第1の実施形態の第2変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図8において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0129】図8に示すように、第2変形例に係る半導体レーザ素子は、シード層12の上に、選択成長層及びn型コンタクト層を設けることなく、n型Al_{0.17}Ga_{0.83}Nからなるn型クラッド層16を設けている。

【0130】第1の実施形態において説明したように、シード層12の上部に種結晶となる領域を除いて溝部12bを形成しているため、マスク膜13の上側には空隙部12cが形成される。これにより、マスク膜13上に多結晶体が析出したとしても、該多結晶体がシード層12の上に選択成長する半導体層に取り込まれなくなる。その結果、選択成長する半導体層の結晶性が良好となり、レーザ構造の積層体30の一部であるn型クラッド層16をシード層12の上に直接に形成できる。この場合には、n側電極24は露出したn型クラッド層16の露出部分上に設けることになる。

【0131】(第2の実施形態)以下、本発明の第2の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0132】図9は本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子のM面を共振器端面とする断面構成を示している。図9において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0133】本実施形態に係る半導体レーザ素子は、例えば、サファイアからなる基板11Aの上部に、選択成長用のストライプ状の凸部11aが共振器端面のM面に垂直な方向、すなわち基板11AのA軸(=<11-20>)方向に設けられている。

【0134】ここで、n型コンタクト層15は、基板11Aの各凸部11aのC面上に生成された単結晶核を種結晶として直接に形成されていることを特徴とする。

【0135】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0136】図10(a)、図10(b)～図12は本発明の第2の実施形態に係る半導体レーザ素子の工程順の断面構成を示している。

【0137】まず、図10(a)に示すように、C面を主面とする基板11A上にレジスト膜を塗布した後、塗

布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法によりストライプ状にパターニングを行なって、基板11AのA軸方向に延びるストライプ状パターンでその周期が約 $10\text{ }\mu\text{m}\sim 30\text{ }\mu\text{m}$ となるレジストパターン40を形成する。続いて、レジストパターン40をマスクとして、反応性イオンエッチャリング(RIE)等のドライエッチャリングにより基板11Aの上部に、断面幅が約 $9\text{ }\mu\text{m}\sim 27\text{ }\mu\text{m}$ で深さが約 $20\text{ nm}\sim 500\text{ nm}$ の溝部11bを形成する。ここでは、溝部11b同士の間の領域からなる凸部11aの断面幅を約 $1\text{ }\mu\text{m}\sim 3\text{ }\mu\text{m}$ としている。

【0138】次に、図10(b)に示すように、レジストパターン40を除去して、上部にA軸方向に延びるストライプ状の凸部11aを有する基板11Aを得る。

【0139】次に、図11に示すように、MOVPE法を用いて、基板温度を約 1000°C に昇温した後、例えば、圧力が約 100 Torr ($1\text{ Torr} = 133.322\text{ Pa}$) の水素と窒素との混合雰囲気として、基板11Aの上にトリメチルガリウム(TMG)、アンモニア(NH_3)及びシラン(SiH_4)を供給して、基板11Aの上に、凸部11aの頂面に現われたC面上に生成する単結晶核を種結晶として、n型GaNからなるn型コンタクト層15を成長する。このとき、n型コンタクト層15は、各凸部11aの頂面から上方に成長すると共に、基板面に平行な方向にも成長して、隣接する溝部11bの両側から成長してきた結晶体同士の互いに対向する側面が溝部11bのほぼ中央部で接合して接合部15aを形成する。これにより、複数の凸部11aの頂面から成長する各結晶体は一体化されて、上面がC面からなるn型コンタクト層15が形成される。また、このとき、各溝部11bの底面及び壁面とn型コンタクト層15の下面とにより囲まれてなる複数の空隙部11cが形成される。

【0140】ここで、サファイアからなる基板11Aによる選択成長の成長機構を説明する。

【0141】通常、窒化物半導体を成長する際に、該窒化物半導体と格子定数が異なる基板を用いる場合には、基板上に窒化物半導体からなる低温バッファ層を介さずにGaN結晶を直接に成長させると、GaNからなる単結晶核同士が合体してなる3次元的な膜しか得られない。

【0142】一方、本実施形態においては、基板11Aの溝部11bの形成にドライエッチャリングを施しているため、溝部11bの底面及び壁面上にはドライエッチャリングによるダメージ層が形成される。このため、溝部11bの底面及び壁面上では単結晶核の生成が阻害される。また、ドライエッチャリングが施されていない凸部11aの頂面は、その断面幅が約 $1\text{ }\mu\text{m}\sim 3\text{ }\mu\text{m}$ と小さいため、高密度の単結晶核が容易に生成される。このように凸部11aの頂面上に生成された単結晶核が選択成長の種結晶となり、前述の成長条件で基板面方向への選択成長が促

進される。

【0143】図11において、接合部15a以外の選択成長領域では貫通転位が約 $1 \times 10^6\text{ cm}^{-2}$ の密度で観測されるのに対して、接合部15aではC面内に水平な転位が約 $4 \times 10^7\text{ cm}^{-2}$ の密度で観測される。n型コンタクト層15の厚さは、溝部11bの幅等にも依存するが、約 $2\text{ }\mu\text{m}\sim 6\text{ }\mu\text{m}$ としている。また、n型コンタクト層15における凸部11aの上側部分のC軸と空隙部11c上の領域のC軸とのチルト角は $0.01^{\circ}\sim 0.03^{\circ}$ で抑えられている。

【0144】このように、本実施形態に係るELO成長法が従来のELO成長と比較してチルト角が極めて小さくなるのは、ELO成長した結晶層であるn型コンタクト層15が基板11Aと接触しておらず、マスク膜13との界面で従来のようなストレスが発生しないからである。

【0145】なお、このとき、接合部15aの下部に、空隙部11c側に開口する逆V字状のボイドが現われる。

【0146】さらに、本実施形態においては、n型コンタクト層15の選択成長を行なう際に、溝部11bの底面上に多結晶体が析出したとしても、基板11Aの上部に設けた凸部11aと溝部11bとの間に生じる段差によって多結晶体がn型コンタクト層15と接触しないため、積層体30の結晶の品質に悪影響を及ぼすことはない。その結果、積層体30から形成されるレーザ素子の動作特性のばらつきを低減でき、歩留まりを向上させることができる。

【0147】次に、図12に示すように、n型コンタクト層15の上に積層体30の残りの半導体層を形成する。

【0148】すなわち、例えば、基板温度を約 970°C に設定した後、圧力が約 300 Torr の水素と窒素との混合雰囲気として、n型コンタクト層15の上に、n型クラッド層16、n型光ガイド層17、MQW活性層18、p型光ガイド層19、p型クラッド層20及びp型コンタクト層21を順次成長する。ここでは、MQW活性層18を、厚さが約 4 nm の $\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{N}$ からなる井戸層と厚さが約 6 nm のGaNからなるバリア層により構成している。

【0149】続いて、図9に示すように、p型クラッド層20の上部及びp型コンタクト層21に対して、積層体30のM軸($=<1-100>$)方向、すなわち、基板11Aの溝部11bと平行な方向に、MQW活性層18に選択的に電流を注入するリッジ部31を、空隙部11cの上方で且つ接合部15aと重ならない領域、すなわち、低転位密度領域に形成する。ここで、リッジ部31の幅は約 $2\text{ }\mu\text{m}\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ としている。

【0150】なお、GaN系結晶は可視光にとって透明であるため、光学顕微鏡により凸部11aと空隙部11c

cとを識別することが容易である。このため、フォトリソグラフィ法を用いたリッジ部31の位置決めを行なう際に、専用のアライメントパターンを用いる必要がない。

【0151】次に、積層体30のリッジ部31を含まない領域をマスクして、n型コンタクト層15を露出した後、積層体30の露出面に絶縁膜22を堆積する。続いて、絶縁膜22上にリッジ部31を跨ぐと共にp型コンタクト層21の絶縁膜22からの露出領域上にp側電極23を形成する。また、n型コンタクト層15における絶縁膜22からの露出領域上にn側電極24を形成する。

【0152】次に、積層体30のM面で、すなわち基板11AをそのA面でへき開することにより共振器端面を形成する。前述したように、サファイアのA面はへき開が困難な結晶面であるが、基板11Aに空隙部11cを設けたことにより、へき開が所定の位置からずれた状態でサファイア結晶が破断したとしても、この破断が積層体30に伝播しないため、共振器端面の近傍には良好なへき開面を容易に得ることができる。これにより、レーザ素子のへき開による歩留まりを高くすることができる。

【0153】次に、へき開した共振器の両端面に適当な反射率となるように誘電体膜等によってコーティングを施し、その後、リッジ部31に対して平行な側面でチップ状に分割して半導体レーザ素子を得る。

【0154】本実施形態に係る半導体レーザ素子は、第1の実施形態で述べたように、ELO成長した領域において一様なステップフロー成長が観察される。このような平坦な表面上にMQW活性層18を成長すると、インジウムの局所的な偏析が起こらない。その結果、MQW活性層18は高品位な結晶体となるので、レーザ素子の動作電流を低減することができる。

【0155】図13は本実施形態に係る半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示しており、単峰性の良好な光強度分布が得られている。一方、第1の従来例に係る半導体レーザ素子は、図42に示したように、光強度分布が多峰性となる遠視野像を示す。

【0156】本実施形態に係る半導体レーザ素子に単峰性を得られるのは、積層体30と基板11Aとの間に空隙部11cが設けられることにより、積層体30と基板11Aとが光学的に互いに分離されているためである。

【0157】具体的に説明すると、図9に示すように、n型クラッド層16の下側には、該n型クラッド層16よりも光の屈折率が大きいn型コンタクト層15が形成されているため、MQW活性層18で生成された生成光が基板11A側に漏れやすい。しかしながら、本実施形態においては、n型コンタクト層15の下側に、屈折率が極めて低い空隙部11cを設けているため、n型クラ

シド層16と基板11Aとの間に寄生的な導波路が形成されず、従って、生成光の漏れによるMQW活性層18の光の閉じ込め係数値が低下しないからである。

【0158】なお、この寄生的な導波路の生成を阻止する効果は、空隙部11cの基板面に垂直な方向の間隔、すなわち溝部11bの深さに依存する。計算機シミュレーションによると、溝部11bの深さ寸法が少なくとも50nm程度あれば、基板11A側への光の漏れが実質的になくなることを確認している。

10 【0159】また、GaNからなるn型コンタクト層15にアルミニウムを2%以上添加すると、基板11A側への光の漏れをより効果的に抑制できることをも確認している。

【0160】また、本実施形態においては、基板11Aの凸部11aの頂面に生成される単結晶核として窒化ガリウムを用いたが、他の窒化ガリウム系の混晶、すなわち、Al_xG_yI_zN（但し、u, v, wは、0≤u, v, w≤1、u+v+w=1である。）であればよい。混晶の場合は、該混晶の組成に応じてELO成長に最適な成長条件を選ぶことができる。

【0161】また、基板11Aにサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素や窒化ガリウム等を用いてもよい。但し、炭化ケイ素を基板11Aに用いると、積層体30に引っ張り歪みが加わり、クラックが発生しやすくなるため、溝部11bの断面幅をできるだけ小さくすることにより、n型コンタクト層15が一体化されたときの膜厚が2μm未満となるようにするが望ましい。また、基板11Aに炭化ケイ素や窒化ガリウムを用いた場合は、へき開はM面及びA面のいずれの面でも容易となるが、溝部11bのストライプ方向と直交する面でへき開する方が歩留まりを高くできる。

【0162】また、基板11Aに溝部11bを形成する際に、RIE法によるドライエッティングを用いたが、溝部11bの底面及び壁面にダメージ層を形成し、窒化ガリウム系半導体に選択成長性を付与できる方法であれば、他のドライエッティング方法、例えば、イオンミリング法を用いてもよい。

【0163】また、溝部11bのダメージ層をELO成長のためのマスク層としたが、析出した多結晶がダメージ層に付着するような場合には、特に、基板11Aに窒化ガリウムを用いる場合には、選択性をより向上させるために、窒化シリコン等からなるマスク膜を溝部11bの少なくとも底面上に形成することが好ましい。

【0164】なお、マスク膜13は、窒化シリコンに限らず、第1の実施形態に示した誘電体、非晶質の絶縁体でも良く、さらには、その第1変形例に示した高融点金属又は高融点金属化物を用いることが好ましい。

【0165】以上説明したように、本実施形態に係る発明は、レーザ素子に関するが、転位密度が低い窒化ガリ

40

シド層16と基板11Aとの間に寄生的な導波路が形成されず、従って、生成光の漏れによるMQW活性層18の光の閉じ込め係数値が低下しないからである。

【0158】なお、この寄生的な導波路の生成を阻止する効果は、空隙部11cの基板面に垂直な方向の間隔、すなわち溝部11bの深さに依存する。計算機シミュレーションによると、溝部11bの深さ寸法が少なくとも50nm程度あれば、基板11A側への光の漏れが実質的になくなることを確認している。

10 【0159】また、GaNからなるn型コンタクト層15にアルミニウムを2%以上添加すると、基板11A側への光の漏れをより効果的に抑制できることをも確認している。

【0160】また、本実施形態においては、基板11Aの凸部11aの頂面に生成される単結晶核として窒化ガリウムを用いたが、他の窒化ガリウム系の混晶、すなわち、Al_xG_yI_zN（但し、u, v, wは、0≤u, v, w≤1、u+v+w=1である。）であればよい。混晶の場合は、該混晶の組成に応じてELO成長に最適な成長条件を選ぶことができる。

【0161】また、基板11Aにサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素や窒化ガリウム等を用いてもよい。但し、炭化ケイ素を基板11Aに用いると、積層体30に引っ張り歪みが加わり、クラックが発生しやすくなるため、溝部11bの断面幅をできるだけ小さくすることにより、n型コンタクト層15が一体化されたときの膜厚が2μm未満となるようにするが望ましい。また、基板11Aに炭化ケイ素や窒化ガリウムを用いた場合は、へき開はM面及びA面のいずれの面でも容易となるが、溝部11bのストライプ方向と直交する面でへき開する方が歩留まりを高くできる。

【0162】また、基板11Aに溝部11bを形成する際に、RIE法によるドライエッティングを用いたが、溝部11bの底面及び壁面にダメージ層を形成し、窒化ガリウム系半導体に選択成長性を付与できる方法であれば、他のドライエッティング方法、例えば、イオンミリング法を用いてもよい。

【0163】また、溝部11bのダメージ層をELO成長のためのマスク層としたが、析出した多結晶がダメージ層に付着するような場合には、特に、基板11Aに窒化ガリウムを用いる場合には、選択性をより向上させるために、窒化シリコン等からなるマスク膜を溝部11bの少なくとも底面上に形成することが好ましい。

【0164】なお、マスク膜13は、窒化シリコンに限らず、第1の実施形態に示した誘電体、非晶質の絶縁体でも良く、さらには、その第1変形例に示した高融点金属又は高融点金属化物を用いることが好ましい。

【0165】以上説明したように、本実施形態に係る発明は、レーザ素子に関するが、転位密度が低い窒化ガリ

ウム系結晶を得る半導体の製造方法としても適用できる。さらに、第1の実施形態のように、基板11上にシード層12を設けないため、製造プロセスを簡略化できる。

【0166】また、本実施形態に係る低転位密度領域を有する窒化物半導体層を用いることにより、発光素子に限らず、電子素子等の他の半導体素子を形成しても良い。これにより、該半導体素子の高信頼性と高歩留まりとを実現できる。

【0167】(第3の実施形態)以下、本発明の第3の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0168】図14は本発明の第3の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図14において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0169】第1の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0170】シード層12の各凸部12aの頂面から成長して一体化された選択成長層14Aに窒化アルミニウムガリウム(AIGaN)を用いる共に、n型AIGaNとn型GaNとを含む超格子構造を持つn型超格子クラッド層16Aがn型コンタクト層15を兼ねる構成を探る。これにより、MQW活性層18の光の閉じ込め係数値を大きくしている。

【0171】図15は本実施形態に係る半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面の光強度分布との関係を示している。また、図16は本実施形態に係る半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示している。

【0172】第3の実施形態においては、シード層12の溝部12bの深さを約50nmとし、n型超格子クラッド層16Aの平均組成をAl_{0.7}Ga_{0.3}Nとしている。また、n型光ガイド層17から上の積層体の構成は、図37に示した従来の半導体レーザ素子と同等の構成としている。

【0173】図15から分かるように、本実施形態に係る半導体レーザ素子は基板11側への生成光の漏れがみられない。また、MQW活性層18への光の閉じ込め係数値は、図41の場合の約1.54倍にも達することを確認している。

【0174】これは、MQW活性層18が、シード層12の空隙部12cによって基板11と分離されている上面に、n型超格子クラッド層16Aとシード層12との間に、光の屈折率がn型超格子クラッド層16Aよりも小さいか又同等の屈折率を持つn型AIGaNからなる選択成長層14Aを設けていることによる。これにより、n型超格子クラッド層16Aと基板11との間に寄生的な導波路が形成されないため、MQW活性層18における光の閉じ込め係数値の生成光の漏れによる低下を抑制

できる。

【0175】なお、この寄生的な導波路の生成を阻止する効果は、空隙部12cの基板面に垂直な方向の間隔、すなわち溝部12bの深さ寸法に依存する。前述したように、溝部12bの深さ寸法が少なくとも50nm程度あれば、基板11側への光の漏れを実質的になくすことができる。

【0176】また、選択成長層14Aのアルミニウムの組成は、2%以上、望ましくは4%以上とすることにより、生成光の基板11側への漏れを抑制できる。

【0177】また、本実施形態においても、選択成長層14Aを成長する際に、AlGaNからなる多結晶体がマスク膜13上に析出したままELO成長を続行しても、種結晶である凸部12aの頂面と多結晶体が析出した溝部12bの底面との間には段差が生じているため、多結晶体により選択成長層14Aの結晶性が劣化することはない。その結果、積層体30の結晶性のばらつきを大きく低減でき、半導体レーザ素子の製造の歩留まりが向上する。

【0178】以下、積層体30上のリッジ部31の位置合わせ方法について説明する。

【0179】積層体30における空隙部12cの上方の低転位密度領域にリッジ部31を形成するには、フォトリソグラフィ法によりリッジ部31の位置決めを高精度に行なう必要がある。

【0180】図17は積層体30を形成する前の選択成長層14の光学顕微鏡による平面写真と、それと対応する選択成長層14の断面構成を表わしている。図17に示すように、光学顕微鏡によって、低転位密度領域14cは、高転位密度領域14b及び接合部14aと容易に識別できる。従って、フォトリソグラフィ法によるリッジ部31の位置決めを行なう工程において、専用のアライメントパターン(位置合わせマーク)を用意する必要がない。

【0181】また、共振器端面の形成には、基板11及び積層体30をへき開する必要がある。本実施形態においても、シード層12に設けた空隙部12cにより、基板11に生じた傷が空隙部12cでとどまるため、積層体30への影響を確実に低減できる。

【0182】本実施例においては、n側電極24はn型超格子クラッド層16Aと接するように形成されており、n型超格子クラッド層16Aをn型コンタクト層としている。

【0183】前述したように、MQW活性層18からの生成光が基板11側に漏れないためには、n型光ガイド層17と空隙部12cとの間にアルミニウムを含む半導体層によって構成する必要がある。ところが、n側電極24を形成するためのn型コンタクト層にアルミニウムの組成が大きいバルク層(単層)、例えば、n型Al_{0.7}Ga_{0.3}Nからなる単層を用いると、該単層の抵抗

率が窒化ガリウムと比べて2倍程度に増えたり、さらにはコンタクト抵抗が増えたりして、レーザ素子の駆動電圧が増大してしまう。

【0184】本願発明者らは種々検討を重ねた結果、例えば、n型Al_{0.11}Ga_{0.89}Nとn型GaNとからなるn型超格子クラッド層16Aの比抵抗は単層のn型GaN層の比抵抗とほぼ同等となるという知見を得ている。これは超格子半導体層に生成される2次元電子ガスの移動度が大きいためである。さらに、本願発明者らは、超格子を構成する単位層の膜厚を十分に小さく、例えば2nm程度とすることにより、コンタクト抵抗がn型GaN層と同等にできるという知見を得ている。このときのn型不純物のドーピング濃度を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度としている。

【0185】これにより、AlGaNとGaNとを超格子構造とすることにより、AlGaNの低屈折率を生かしながら、同時に低抵抗化をも実現でき、低電圧化を確実に達成できる。

【0186】なお、超格子層は、アルミニウムの平均組成が2%で且つ膜厚が $\lambda / (4n)$ 以下が好ましい。ここで、 λ は光の波長であり、nは単位層の屈折率である。

【0187】さらに、本実施形態によると、図17に示す選択成長層14Aの低転位密度領域14cは、原子間力顕微鏡(Atomic-Force-Microscopy: AFM)による測定によって、一様なステップフロー成長が確認されており、表面は良好な平坦性を有している。その結果、インジウムを含むMQW活性層18の成長時に、インジウムの局所的な偏析が生じなくなるので、しきい値電流を低減することができる。

【0188】また、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレート(NGO)又は窒化ガリウム等を用いてもよい。

【0189】また、シード層12の上部の凸部12aの形成にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成でき、該溝部12bの少なくとも底面上にマスク膜13が残る方法であれば、他の方法を用いてもよい。

【0190】また、マスク膜13は、空隙部12cが形成されればよく、溝部12bの底面上にのみ形成してもよい。

【0191】また、マスク膜13には、ECRスパッタ法による窒化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タンゲステン等の高融点金属やそのシリサイド化物を用いると良い。

【0192】(第4の実施形態)以下、本発明の第4の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0193】図18は本発明の第4の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図18において、図1に示す構成部材と同一の構成

部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0194】第3の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0195】第3の実施形態に係るAlGaNからなる選択成長層14Aを、図18に示すように、シード層12の凸部12aの頂面の近傍に形成されたGaNからなる第1の選択成長層14Bと、該第1の選択成長層14Bの上方及び側方を覆う、AlGaNからなる第2の選択成長層14Cとの2層構造としている。

10 【0196】また、n型コンタクト層を兼ねるn型超格子クラッド層16Aを、n型超格子コンタクト層15Aと単層のAl_{0.11}Ga_{0.89}Nからなるn型クラッド層16との2層構造としている。ここでは、n型超格子コンタクト層15Aの構成を、n型Al_{0.11}Ga_{0.89}Nとn型GaNとからなる超格子構造としている。

【0197】また、積層体30の上部におけるリッジ部31には、該リッジ部31の上面にのみp側電極23を形成し、該p側電極23及びリッジ部31を覆うようにp側配線電極25が形成されている。同様に、n側電極24上には該n側電極24を覆うn側配線電極26が形成されている。

【0198】以下、本実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法の特徴を説明する。

【0199】まず、シード層12の各凸部12aの頂面を種結晶として成長する複数の第1の選択成長層14Bを成長させる。続いて、各第1の選択成長層14Bを種結晶として成長する第2の選択成長層14C同士が接合して一体化するまでは、第1及び第2の選択成長層14B、14Cの成長圧力を200Torr程度と比較的低く設定している。

【0200】これは、減圧状態とする程、第1及び第2の選択成長層14B、14Cの成長速度が、基板面に垂直のC軸方向と比べて、シード層12のA軸方向、すなわち、溝部12bを横切る方向の方が大きくなるからである。

【0201】これに対して、MQW活性層18は成長時の圧力を300Torr程度に高くして行なう。これは、成長圧力を高くした方が、蒸気圧が高いインジウムの蒸発を抑制でき、MQW活性層18の結晶品質を高くしやすいためである。従って、積層体30を形成する際には、第1及び第2の選択成長層14B、14Cと成長圧力を変更することになる。

【0202】このように、連続する窒化物半導体の成長工程において、成長圧力を変更するには、稼働中に成長圧力を変更可能な1つの結晶成長炉を用いても良く、また、それぞれの成長圧力に設定された別々の結晶成長炉を用いても良い。

【0203】第4の実施形態に係る半導体レーザ素子は、第3の実施形態と同様に、図15に示した屈折率分布及び光強度分布を示し、図16に示した出射光の遠視

野像を得ている。

【0204】これは、MQW活性層18が、シード層12の空隙部12cによって基板11と分離されている上に、n型クラッド層16とシード層12との間に、光の屈折率がn型クラッド層16Aよりも小さいか又は同等の屈折率を持つn型超格子コンタクト層15A及び第2の選択成長層14Cを設けているからである。これにより、n型クラッド層16と基板11との間に寄生的な導波路が形成されず、MQW活性層18における光の閉じ込め係数値の生成光の漏れによる低下を抑制できる。

【0205】なお、本実施形態の場合は、計算機シミュレーションの結果、溝部12bの深さ寸法が少なくとも20nm程度あれば、基板11側への光の漏れを実質的になくすことができることを確認している。

【0206】また、第2の選択成長層14Cのアルミニウムの組成は、2%以上、望ましくは4%以上とすることにより、生成光の基板11側への漏れを抑制できる。

【0207】以上の構成により、MQW活性層18への光閉じ込め係数値は、図41の場合の約1.5倍となり、レーザのしきい値電流を低減できる。

【0208】次に、本発明に係る凸部12aの頂面を種結晶とする選択成長法と、図38に示す、平坦なシード層をストライプ状にマスクする第2の従来例の選択成長法との成長機構の相違点を説明する。

【0209】図19(a)は第4の実施形態に係る選択成長機構を模式的に表わしており、図19(b)は第2の従来例に係る選択成長機構を模式的に表わしている。

【0210】良く知られているように、分子等からなる反応種が所望の結晶体に成長するまでには、結晶体の表面上やマスク膜の表面上において、反応種が吸着、拡散及び蒸発等を繰り返すというプロセスを経る。例えば、GaNからなる結晶表面に吸着した原子は結晶表面の上面であるテラス上を拡散する。また、表面に吸着された原子はステップと呼ばれるテラス上の段差部で結晶化する。

【0211】図19(b)に示すように、従来のELO成長の場合においても、マスク膜403上で同様のプロセスを経る。すなわち、マスク膜403上を拡散した原子は、GaNからなる半導体層404の端部に吸着する。このとき、マスク膜403を構成するシリコン又は酸素が、水素やアンモニアの還元作用によって分解されて、不純物として半導体層404に取り込まれることにより、半導体層404の結晶性が劣化する。

【0212】これに対して、図19(a)に示すように、本実施形態においては、マスク膜13上を拡散して、GaNからなる第1の選択成長層14Bを取り込まれる原子はない。それは、第1の選択成長層14Bの下面に結晶が成長し得ないためである。このように、マスク膜13上の反応種の結晶成長への寄与が従来のELO法と異なっており、このことから、本発明の成長機構は

従来のELO法による成長機構と異なっている。

【0213】本実施形態においては、第1の選択成長層14BにGaNを用い、第2の選択成長層14CにAl_xG_yN_zを用いたが、第1の選択成長層14Bには、アルミニウムの組成が4%以下のAl_xG_yIn_zN_(x+y+z=1)からなる窒化物半導体であればよい。

【0214】以下、低屈折率を有する第2の選択成長層14Cを成長するよりも前に、シード層12を種結晶とする第1の選択成長層14Bを形成する目的を図面に基づいて説明する。

【0215】第3の実施形態で説明したように、基板面に対して垂直な方向の横モード制御及びMQW活性層18への光の閉じ込め係数値を大きくするのであれば、選択成長層を2層構造とする必要はない。

【0216】ところが、図20(b)に示すように、Al_xG_yN_zからなる選択成長層14Aにおいてアルミニウムの組成が4%を越える場合には、選択成長層14Aの成長方向の端面にうねり14dが生じる場合がある。選択成長層14Aの成長条件、例えば成長圧力、成長温度、又はIII族源に対するV族源のモル比であるV/II_I比等に適当な値を設定すれば多少の改善はされるものの、量産を考えると、成長端面のうねり14dの発生を極力なくすことが好ましい。

【0217】本願発明者らは、シード層12を種結晶とする選択成長層には、アルミニウムの組成を小さくした窒化物半導体層を用いることが好ましいことを見いだしている。

【0218】具体的には、図20(a)に示すように、まず、アルミニウムの組成が4%以下の窒化ガリウム系半導体からなる第1の選択成長層14Bをシード層12の凸部12の近傍に成長しておき、その後、成長した第1の選択成長層14Bを種結晶として、アルミニウムの組成が4%を越え、低屈折率を有する窒化ガリウム系半導体からなる第2の選択成長層14Cを成長する。これにより、第2の選択成長層14Cは成長端面にうねり14dを生じない良好なラテラル成長を行なえるようになる。

【0219】また、第2の選択成長層14Cは、そのアルミニウムの組成が大きい程、また、その成長時間が長いほど、マスク膜13上に多結晶体41が析出しやすくなる。これはGaN結晶と比べてAlGaN結晶又はAIN結晶の蒸発速度が小さいためである。

【0220】図21(a)～図21(d)に示すように、GaNからなり、多結晶体41が析出しにくい第1の選択成長層14Bを最初に成長することにより、成長端面が接合するまでに要する第2の選択成長層14Cの成長時間を短くすることができる。

【0221】また、図21(c)第1の選択成長層14Bが傘状に成長するため、マスク膜13上に供給される

反応種の量を低減できる。これらの効果により、マスク膜13上の多結晶体41の析出量を大きく低減できるようになり、空隙部12cの上方に成長する積層体30への影響を極めて小さくすることができる。その結果、光の閉じ込め係数値を確実に大きくできる上に、積層体30の結晶性が向上してレーザ素子としての動作特性のばらつきを大きく低減できるので、製造の歩留まりをも確実に向ふことができる。

【0222】なお、本実施形態においては、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレート又は窒化ガリウム等を用いてもよい。

【0223】また、マスク膜13は、空隙部12cが形成されれば、溝部12bの底面上にのみ形成してもよい。

【0224】また、マスク膜13には、ECRスパッタ法による窒化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タンゲステン等の高融点金属やそのシリサイド化物を用いると良い。

【0225】(第5の実施形態)以下、本発明の第5の実施形態について図面を参考しながら説明する。

【0226】図22及び図23は本発明の第5の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子であつて、図22は積層体のM面における断面構成、すなわち基板のA面における断面構成を示し、図23図22のXXIII-XIII線における断面を示し、積層体のA面、すなわち基板のM面における断面構成を示している。図22及び図23において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0227】第5の実施形態は、MQW活性層18を含む積層体30から、平坦な共振器端面32を持つ半導体レーザ素子を確実に形成できるようにすることを特徴とする。

【0228】図22に示すように、シード層12の上部には、断面幅が約3μmの凸部12aと断面幅が約12μmの溝部12bとを一周期とする周期構造体の34周期(長さ510μm)ごとに、溝部12bの断面幅を約20μmと大きくした拡大溝部12dが形成されている。

【0229】第1の実施形態と同様の方法で積層体30を形成すると、シード層12の各凸部12aの頂面を種結晶としてラテラル成長する積層体30は、拡大溝部12dの上方では接合されないため、隣接する積層体30のA面同士の成長端面が接することなく現われる。この成長端面は、自然形成された結晶面であるため、M面等の他の面方位が全く混在していない。従って、この成長端面を共振器端面32に用いると、図43に示した従来の半導体レーザ素子のように、A面とM面とが混在することにより生ずる共振器端面におけるミラー損失を防止できる。

【0230】この自然形成されたA面を持つ成長端面を原子間力顕微鏡(AFM)により観察すると、その表面"は荒さの2乗の平均値が1nm以下となる極めて平坦な表面を得られていることを確認している。

【0231】さらに、この成長端面を共振器端面32とすると、エネルギーギャップがMQW活性層18よりも大きいp型光ガイド層19、p型クラッド層20が共振器端面32上に形成されているため、p型光ガイド層19及びp型クラッド層20における端面上の領域で出射光が吸収されることがない。これにより、積層体30における共振器端面32の近傍の温度上昇が抑制されるので、端面劣化による信頼性の低下を防止できる。

【0232】第5の実施形態に係る半導体レーザ素子によると、ストライプ状の凸部12aの頂面を種結晶とするELO成長法を用いると共に、さらに、凸部12a同士の側面により形成される溝部12bの形成周期をその形成周期よりも大きい周期で拡大溝部12dを設けている。これにより、拡大溝部12dの上方に積層体30の成長端面がそのまま露出するため、この自然形成された露出面が共振器の端面32となる。この共振器端面を持つ本実施形態に係る半導体レーザ素子と、図39に示す第2の従来例に係る半導体レーザ素子とのレーザ光の発振しきい値を比較すると、本実施形態に係るレーザ素子の方が約30%も低減する。

【0233】なお、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレート(NGO)又は窒化ガリウム等を用いてもよい。

【0234】また、マスク膜13は、空隙部12cが形成されれば、溝部12bの底面上にのみ形成してもよい。

【0235】また、マスク膜13には、ECRスパッタ法による窒化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タンゲステン等の高融点金属やそのシリサイド化物を用いると良い。

【0236】また、シード層12の上部に設けた凸部12a及び溝部12bの幅はそれぞれ3μm及び12μmに限られないが、凸部12aの幅を溝部12bの幅よりも小さくする方が好ましい。このようにすると、凸部12aの頂面の種結晶から積層体30に伝播する転位の影響を低減でき、転位によるレーザ素子の動作特性の劣化を防止できるので、該レーザ素子の信頼性を向上することができる。

【0237】また、シード層12の上部の拡大溝部12dの形成周期も共振器長に合わせて適当な値に設定すればよい。

【0238】第5の実施形態においては、凸部12aのストライプ方向として積層体30のM軸方向を選び、その自然形成されたA面を共振器端面32としたが、代わりに、凸部12aのストライプ方向として積層体30のM軸と直交するA軸方向を選ぶと、M面が自然形成され

る。従って、A軸方向に延びるストライプ状の凸部12aを形成することにより、自然形成されたM面を共振器端面32に持ち、しきい値電流を大きく低減でき且つ信頼性が向上する半導体レーザ素子を得ることができる。

【0239】(第5の実施形態の第1変形例)以下、本発明の第5の実施形態の第1変形例について図面を参照しながら説明する。

【0240】図24は第5の実施形態の第1変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のM面における断面構成、すなわち基板のA面における断面構成を示している。図24においては、図22に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付している。

【0241】図24に示すように、第1変形例に係る半導体レーザ素子は、積層体30の共振器端面32を自然形成する拡大溝部12dの内側に隣接する溝部をも断面幅が $20\mu m$ 程度に拡大された拡大溝部12dを有している。これにより、積層体30の共振器端面側の両端部に、それぞれの対向面がA面からなる側面空隙部30aが形成されている。

【0242】このように、共振器端面32に、屈折率が1である側面空隙部30aと、屈折率が約2.6の窒化ガリウム系半導体からなる積層体30とを組み合わせることにより、高屈折率差を実現できるため、共振器端面32におけるレーザ光の反射率を誘電体膜等によりコーティングする場合と比べて大きくすることができる。

【0243】共振器端面32におけるレーザ光の反射率を高めるには、側面空隙部30aによって積層体30から孤立する孤立体の出射方向の幅寸法が、 $\lambda/(4n)$ の整数倍であることが好ましい。ここで、 λ は光の波長であり、 n は孤立体の屈折率である。

【0244】なお、側面空隙部30aを積層体30の両端部に設けたが、反射率を高めて出射光の出力値を増大させるために、積層体30のいずれか一方の端部にのみ側面空隙部30aを設けてもよい。

【0245】本変形例によると、レーザ光の発振しきい値電流は、側面空隙部30aを設けない場合と比べて、約20%も低減され、側面空隙部30aの効果は極めて大きい。なお、側面空隙部30aは積層体30中に3つ以上設けてもよい。

【0246】(第5の実施形態の第2変形例)図25は、第5の実施形態に係る第2変形例であって、シード層12の上部に設けるストライプ状の溝部をすべて拡大溝部12dとしている。

【0247】このようにすると、複数の積層体30のそれぞれは、基板11上においてすべてが孤立体となる。従って、所望の共振器長を持つ共振器が形成されるよう複数の孤立体からなる共振器を形成し、形成した共振器の端面と対応する位置の側面空隙部30aにおいて基板11を分割することにより、複数の孤立体を含む1つの半導体レーザ素子を形成できる。

【0248】これにより、第2変形例に係る半導体レーザ素子は、レーザ光のミラー損失の要因となる凹凸がなく極めて平坦なA面を持ち、且つ、該レーザ素子に孤立体を含める個数を変えることにより、共振器長を容易に変更することができる。

【0249】さらには、各拡大溝部12dごとに基板11を分割することにより、凸部12aの1つ分からなり、共振器長が約 $15\mu m$ のレーザ素子を得ることも可能となる。従来のように基板と積層体とを同時にへき開する方法では、共振器端面の平坦性を維持しながら、このような微小な共振器を形成することは極めて困難である。

【0250】(第5の実施形態の第3変形例)以下、第3変形例として、選択成長層の上部にストライプ状の凸部をさらに設けて、積層体30から結晶転位を完全にくしてしまうことにより、半導体レーザ素子の信頼性をより向上できる方法を説明する。

【0251】図26に示すように、上部に凸部12a及び溝部12bが設けられ、該溝部12bの底面及び壁面に第1のマスク膜13Aが形成されたシード層12aの上には、選択成長シード層34がELO成長により一体に形成されている。

【0252】選択成長シード層34の上には、シード層12の凸部12a及び溝部12bと同等の周期を持つ、凸部34a及び溝部34bが設けられており、該溝部34bの底面及び壁面には第2のマスク膜13Bが形成されている。

【0253】ここで、凸部34aは、選択成長シード層34における低転位密度領域及び接合部を避けるよう30に、溝部12bの上方に形成されている。

【0254】このように、第3変形例によると、選択成長シード層34の上部に設けられた凸部34aの頂面であるC面を種結晶として選択成長層14が成長している。この凸部34aの頂面には、シード層12における凸部12aの頂面の種結晶からの転位や、選択成長シード層34の接合部に起因する欠陥等が含まれない高品位の結晶面が現われている。その結果、高品位の選択成長層14の上に形成される積層体30は欠陥フリーとなり、結晶欠陥に起因したレーザ光の散乱による損失及び40キャリアの非発光過程による信頼性の低下等を防止でき、極めて高品質な窒化ガリウム系半導体レーザ素子を実現できる。

【0255】(第6の実施形態)以下、本発明の第6の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0256】図27は本発明の第6の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子であって、積層体のA面における断面構成、すなわち基板のM面における断面構成を示している。図27において、図14に示す第3の実施形態に係るレーザ素子の構成部材と同一の構成部材50には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0257】第3の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0258】図27に示すように、サファイアからなる基板11上には、第1のシード層12A及び第2のシード層12Bが設けられている。

【0259】第1のシード層12Aの上部には、ストライプ状の凸部12a及び溝部12bが基板11のM面に対して平行に、すなわち、積層体30のA面に対して平行に設けられている。同様に、第2のシード層12Bの上部には、ストライプ状の凸部12a及び溝部12bが、第1のシード層12Aの凸部12a及び溝部12bと平行で且つ基板面に垂直な方向で重ならないように設けられている。

【0260】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0261】図28(a)、図28(b)～図31は本発明の第6の実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法であって、基板のA面における工程順の断面構成を示している。

【0262】まず、図28(a)に示すように、MOVPE法により、C面を主面とする基板11上に、基板温度を約530°Cに設定し、例えば圧力が約300Torrの水素と窒素との混合雰囲気として、III族源のTMGと、窒素源のNH₃とを供給して、GaNからなる低温バッファ層を堆積する(図示せず)。続いて、基板温度を約970°Cにまで昇温した後、TMG、NH₃及びSiH₄を基板11上に供給することにより、膜厚が0.5μm～1μm程度のn型GaNからなる第1のシード層12Aを成長する。このとき、第1のシード層の正面はC面となっており、転位密度は10⁹cm⁻²台である。

【0263】次に、図28(b)に示すように、第1のシード層12A上にレジスト膜を塗布した後、塗布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法により、ストライプ方向が第1のシード層12AのM軸方向と一致するパターニングを行なって、レジストパターン40を形成する。続いて、レジストパターン40をマスクとして、第1のシード層12Aに対してドライエッチングを行なうことにより、第1のシード層12Aの上部に、断面幅が約3μm～6μmの凸部12aと断面幅が約12μm～24μmの溝部12bとを一周期とする周期構造体を形成する。このとき、溝部12bの深さ寸法を50nm～1μm程度としている。

【0264】次に、図29(a)に示すように、ECRスパッタ法を用いて、第1のシード層12Aにおける溝部12bの底面及び壁面とレジストパターン40上に、窒化シリコンからなるマスク膜13を堆積する。ここでも、シリコンの原料には、固体シリコンを用い、反応性ガスには窒素を用い、プラズマガスにはアルゴンを用い

ている。

【0265】次に、図29(b)に示すように、レジストパターン40に対してリフトオフを行なって、レジストパターン40及びその上のマスク膜13を除去する。なお、マスク膜13は、溝部12bの壁面の全面を覆っていても良く、壁面の一部を覆っていても良い。

【0266】次に、図30(a)に示すように、再度MOVPE法を用いて、例えば圧力が約100Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約1000°Cにまで昇温した後、TMG、NH₃及びSiH₄を第1のシード層12Aの上に供給することにより、第1のシード層12Aのマスク膜13から露出した領域を種結晶として、n型GaNからなる第2のシード層12Bを成長する。このとき、第2のシード層12Bは、各凸部12aの頂面から上方に成長すると共に、基板面に平行な方向にも成長して、隣接する溝部12bの両側から成長してきた結晶体同士の互いに対向する側面が溝部12bのほぼ中央部で接合して接合部12eを形成する。これにより、複数の凸部12aの頂面から成長する各結晶体は一体化されて、上面がC面からなる第2のシード層12Bが形成される。また、このとき、第1のシード層12Aにおける各溝部12bの底面及び壁面と第2のシード層12Bの下面とにより囲まれてなる複数の空隙部12cが形成される。このときの、第2のシード層12Bの膜厚は、溝部12bの幅寸法等に依存するが、約2μm～6μmである。

【0267】第2のシード層12Bにおける接合部12eを除く選択成長領域では、転位密度が約1×10⁶cm⁻²程度の貫通転位が観測されるのに対し、接合部12eでは、C面内に平行な転位密度が約4×10⁷cm⁻²の結晶転位が観測される。

【0268】また、第2のシード層12Bにおける凸部12aの上側部分のC軸と空隙部12c上の領域のC軸とのチルト角は0.01度～0.03度である。

【0269】このように、本実施形態に係るELO成長法が従来のELO成長と比較してチルト角が極めて小さくなるのは、ELO成長した結晶層である第2のシード層12Bが第1のシード層12Aと接触しておらず、マスク膜13との界面で従来のようなストレスが発生しないからである。

【0270】なお、接合部12eの下部に、空隙部12c側に開口する逆V字状のボイドが現われる。

【0271】さらに、本実施形態においては、第2のシード層12Bの選択成長を行なう際に、溝部12bの底面上に多結晶体が析出したとしても、第1のシード層12Aの上部に設けた凸部12a及び溝部12bにより形成される段差によって多結晶体が第2のシード層12Bと接触しないため、レーザ構造を含む積層体30の結晶品質に悪影響を及ぼすことはない。その結果、積層体30から形成されるレーザ素子の動作特性のばらつきを低

減でき、歩留まりを向上させることができる。

【0272】次に、図30(b)に示すように、成長した第2のシード層12Bの上部に、凸部12a及び溝部12bを一周期とする周期構造体を、第1のシード層12Aと同様の方法で形成する。このとき、第2のシード層12Bの凸部12aを、その頂面の位置が第2のシード層12Bの低転位密度領域の上に位置するように形成することが好ましい。すなわち、第2のシード層12Bの凸部12aの頂面の位置が、第1のシード層12Aの凸部12aの頂面の位置と基板面方向に異なり且つ接合部12eの側方の領域に形成する。

【0273】これにより、第2のシード層12Bにおける、第1のシード層12Aの空隙部12c上に位置する低転位密度領域を種結晶として、2回目のELO成長を行なえるようになる。なお、窒化ガリウム系結晶は可視光にとって透明であるため、光学顕微鏡により凸部12aと溝部部12bとを容易に識別することができ、フォトリソグラフィ法によるストライプ状パターンを持つ凸部12aの位置決めを行なう際に、専用のアライメントパターンを用いる必要はない。

【0274】次に、図31に示すように、MOVPE法を用いて、例えば、圧力が約100 Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約1000°Cとして、第2のシード層12Bの上に、マスク膜13から露出する凸部12aの頂面に現われたC面を種結晶として、n型AlGaNからなり主面がC面からなる選択成長層14Aを一体化されるまで成長させる。これにより、選択成長層14Aは周期的に形成される接合部14aを除くすべての領域で転位密度が約 $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ と小さくなる。

【0275】続いて、圧力が約300 Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約970°Cとして、一体化された選択成長層14Aの上に、n型超格子クラッド層16A、n型光ガイド層17、MQW活性層18、p型光ガイド層19、p型クラッド層20及びp型コンタクト層21を順次成長して積層体30を形成する。ここで、MQW活性層18は発振波長が400 nm帯となるレーザ発振を得るために、例えば、厚さが約4 nmのGaNからなるバリア層とにより構成している。

【0276】その後、図27に示すように、ドライエッチング法により、p型クラッド層20の上部及びp型コンタクト層21に対して、MWQ活性層18に選択的に電流を注入する、幅が $2 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$ のリッジ部31を積層体30のA軸方向、すなわち凸部12aのストライプ方向と直交する方向に形成する。

【0277】続いて、積層体30におけるリッジ部31を含まない領域に対してドライエッチングを行なって、n型超格子クラッド層16Aを露出した後、積層体30の露出面に絶縁膜22を堆積する、続いて、絶縁膜22

における、リッジ部31の上側の領域及びn型超格子クラッド層16Aの上側の領域にそれぞれ開口部を設けた後、蒸着法又はスパッタ法等により、リッジ部31における絶縁膜22の開口部からの露出領域上及びリッジ部31の周辺部上にp側電極23を形成し、また、n型超格子クラッド層16Aの絶縁膜22からの露出領域上にn側電極24を形成する。

【0278】次に、積層体30のA面、すなわちサファイアからなる基板11のM面でへき開することによって10共振器端面を形成する。サファイアのM面はへき開が容易であり、半導体レーザ素子のへき開の歩留まりを良好に維持できる。なお、基板11と積層体30との間にには、へき開面と平行にのびる複数で且つ2段構成の空隙部12cが存在するが、これらの空隙部12cによってへき開の歩留まりが低下することはない。

【0279】次に、へき開した両端面に適当な反射率を得られるように誘電体等によりコーティングを施し、チップ状に分離して図27に示す半導体レーザ素子を実現できる。

20 【0280】第6の実施形態に係る半導体レーザ素子は、MQW活性層18を含む積層体30のA軸方向に形成された共振器と、選択成長により形成されるM軸方向に延びるストライプ状の空隙部12cとが直交するよう設けられていることを特徴とする。

【0281】但し、このようにすると、図31から分かるように、MQW活性層18のリッジ部31の長軸方向である電流注入領域は、各半導体層の接合部14aを横切ることになる。その結果、接合部14aに集中する転位がレーザ素子の動作に影響を与える虞がある。ところが、MQW活性層18の層内の転位を観測すると、貫通転位は接合部14aと無関係に面内で均一に約 $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ の密度で存在することを確認している。従つて、電流注入領域が接合部14aを横切ることは半導体レーザ素子の信頼性に悪影響を与えることはない。

【0282】また、種結晶である第2のシード層12Bと選択成長層14Aとの間でC軸にチルトが存在する40と、A軸方向に形成された共振器の場合は、基板面に対して垂直な方向にうねるジグザグ導波路となつて導波損失を招く。その結果、レーザ素子の動作電流が増加する虞がある。たしかに、図38に示すような従来のELO成長法を用いて製造したレーザ素子ではチルト角が0.1度以上もあり、例えば空隙部12cの幅が12ミクロンとすれば、高低差が10 nm以上のジグザグ導波路となるため、レーザ素子の動作電流が増加する。

【0283】一方、チルト角が0.05度以下であると、高低差は5 nm程度に抑えられるため、ジグザグ導波路の影響をほとんど無視できる。本実施形態においては、明のレーザ素子では空隙部12cを形成しながら成長するラテラル成長により、チルト角を0.03度以下に抑えることができるので、ジグザグ導波路の発生を防

止できる。

【0284】また、選択成長層14Aにおけるラテラル成長した領域において、一様なステップフロー成長を観察している。このような平坦な表面上にMQW活性層18を成長すると、インジウムの局所的な偏析が起こらず、均質なMQW活性層18を得られるので、動作電流の低減を図ることができる。

【0285】また、本実施形態に係る半導体レーザ素子における基板面に垂直な方向の遠視野像は図16に示すグラフと同等であって、単峰性で良好な光強度分布を得られている。

【0286】これは、第3の実施形態と同様に、第2のシード層12Bの各凸部12aの頂面から成長して一体化された選択成長層14Aにn型AlGaNを用いる共に、n型AlGaNとn型GaNとを含む超格子構造を持つn型超格子クラッド層16Aがn型コンタクト層を兼ねている。これにより、MQW活性層18の光の閉じ込め係数値が大きく向上するからである。

【0287】前述したように、選択成長層14Aのアルミニウムの組成は、2%以上、好ましくは4%以上とすると、光の基板11側への漏れを確実に防止することができる。

【0288】なお、本実施形態においては、第1及び第2のシード層12A、12BにGaNを用いたが、一般式Al_uG_vN（但し、u、v、wは、0≤u、v、w≤1、u+v+w=1である。）からなる窒化ガリウム系混晶、特にAlGaN又はGaN等を用いると良く、混晶の組成に応じてラテラル成長に最適な成長条件を選べばよい。

【0289】また、第1のシード層12Aは、低温バッファ層を介して形成したが、第1のシード層に単結晶が得られる方法を用いれば良い。

【0290】また、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレート(NGO)又は窒化ガリウム等を用いてもよい。但し、炭化ケイ素を基板11に用いると、積層体30に引っ張り歪みが加わり、クラックが発生しやすいため、溝部12bの断面幅をできるだけ小さくすることにより、第2のシード層12Bが一体化されたときの膜厚が2μm未満となるようにすることが望ましい。このようにすると、2回の選択成長及び積層体30の成長を行なった後でも積層体30にクラックが生じない。

【0291】このため、基板11の材料に無関係に3回以上の選択成長は無意味であり、さらには、歪みに起因する新たな不具合を生じるので好ましくない。

【0292】また、第1及び第2のシード層12A、12Bの各上部の凸部12aを形成する際にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成でき、該溝部12bの少なくとも底面にマスク膜13が残る方法であれば、他の方法を用いてもよい。すなわち、凸部1

2aにおけるマスク膜13により覆われていない領域のうちのC面を種結晶として、空隙部12cが形成される方法であれば良い。

【0293】また、マスク膜13は、窒化シリコンに限らず、第1の実施形態及びその第1変形例に示した誘電体、非晶質の絶縁体、高融点金属又は高融点金属化物を用いることが好ましい。なお、誘電体膜の堆積にはECRスパッタ法を用いることにより、低温で良質のマスク膜13を得ることができる。

【0294】また、本実施形態に係る低転位密度領域を有する窒化物半導体層を用いることにより、発光素子に限らず、電子素子等の他の半導体素子を形成しても良い。これにより、該半導体素子の高信頼性と高歩留まりとを実現できる。

【0295】(第7の実施形態)以下、本発明の第7の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0296】図32は本発明の第7の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図32において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0297】図32に示すように、第7の実施形態に係る半導体レーザ素子は、シード層12の上部に設けられたELO成長用の種結晶となり且つ第1の形成周期を持つストライプ状の凸部12aと、積層体30の上部に設けられ、電流注入用の1つのリッジ部31A及び該リッジ部31Aの位置合わせ用の複数のダミーリッジ部31Bとを有している。これらリッジ部31A及びダミーリッジ部31Bは、凸部12aと同一の方向に延び、且つ、第1の形成周期と異なる第2の形成周期を持つよう

に形成されている。

【0298】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0299】図33～図35は本発明の第7の実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0300】まず、図33に示すように、MOVPE法を用いて、第1の実施形態と同様に、第1のサファイアからなる基板11上にGaNからなるシード層12を成長し、レジスト膜を用いたフォトリソグラフィ法及びドライエッキング法により、成長したシード層12の上部に、リッジストライプ状の凸部12aを形成する。ここでは、一例として、凸部12aの断面幅を約4μmとし、溝部12bの断面幅を約12μmとして、第1の形成周期を16μmとしている。

【0301】次に、ECRスパッタ法を用いて、凸部12aが形成されたシード層12の上に全面にわたって、窒化シリコンからなるマスク膜13を堆積し、続いて、レジスト膜をリフトオフすることにより、凸部12aの少なくとも頂面をマスク膜13から露出する。ここで、

マスク膜 13 は、溝部 12b の壁面を覆っていてもよく、覆っていなくてもよい。

【0302】 続いて、MOVPE 法により、第 1 の実施形態と同様に、シード層 12 の上に、マスク膜 13 から露出する凸部 12a の頂面に現われる C 面を種結晶として、選択成長層 14 及び積層体 30 を順次成長させる。

【0303】 次に、図 34 に示すように、p 型クラッド層 20 の上部及び p 型コンタクト層 21 に対して、断面幅が約 3 μm で、周期が 18 μm の第 2 の形成周期を持つリッジ部 31A 及びダミーリッジ部 31B を形成する。ここでは、電流注入用のリッジ部 31A は、空隙部 12c の上方で且つ接合部 14a と重ならない領域、すなわち、結晶転位が少ない低転位密度領域に形成する。その後、ECR スパッタ法により、アルゴンを雰囲気とし、金属アルミニウム及び窒素を原料として、リッジ部 31A 及びダミーリッジ部 31B の側面及びその間の領域を窒化アルミニウム (AlN) からなる絶縁膜 35 で覆う。

【0304】 次に、図 35 に示すように、積層体 30 におけるリッジ部 31A を含まない領域に対して、ドライエッチングを行なって、n 型コンタクト層 15 を、n 型クラッド層 16 によるダミーリッジ部 31 が形成されるように露出した後、積層体 30 の露出面に窒化シリコンからなる絶縁膜 22 を堆積する。

【0305】 次に、図 32 に示すように、四フッ化炭素 (CF₄) を用いた反応性イオンエッチング (RIE) により、絶縁膜 22 における、リッジ部 31A の上側及び側方部分、並びに n 型コンタクト層 15 における 1 つのダミーリッジ部 31B の上側及び側方部分にそれぞれ開口部を設ける。その後、リッジ部 31A 及びその側方における絶縁膜 22 の開口部からの露出領域上に p 側電極 23 を形成すると共に、n 型コンタクト層 15 の上におけるダミーリッジ部 31B 及びその側方における絶縁膜 22 の開口部からの露出領域上に n 側電極 24 を形成する。なお、絶縁膜 22 におけるリッジ部 31A の上側及び側方部分を除去する際に、絶縁膜 22 の下側に形成されている絶縁膜 35 も多少はエッチングされるが、注入電流に対する電流狭窄及び水平横モード制御に影響がない程度であれば無視してもよい。

【0306】 以上のようにして得られた半導体レーザ素子は、厚さが約 3 nm の Ga_{0.8}In_{0.2}N からなる井戸層と厚さが約 6 nm の GaN からなるバリア層とから構成された MQW 活性層 18 により、波長が約 403 nm のレーザ発振を起こす。

【0307】 以下、本実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法の特徴であるリッジ部 31A 及びダミーリッジ部 31B と凸部 12a との位置合わせ方法を図面に基づいて説明する。

【0308】 前述したように、図 32において、電流注入用のリッジ部 31A は積層体 30 における低転位密度

領域に形成することが半導体レーザ素子の特性の向上を図る上で必須となる。

【0309】 図 36 (a) は複数のリッジ部 31 のうち、電流注入用として適当なリッジ部 31 を示した例である。○印を付したリッジ部 31 は、凸部 12a と接合部 14a との間にあって、最も転位密度が低い領域に位置している。これとは逆に、×印を付したリッジ部 31 は高転位密度領域上に位置している。

【0310】 従って、図 35 に示した、n 型コンタクト層 15 を露出するエッチング工程において、○印を付したリッジ部 31 を電流注入用のリッジ部 31A として残しておく必要がある。

【0311】 そこで、本実施形態においては、図 36 (b) に示すように、リッジ部 31A とダミーリッジ部 31B とを容易に且つ確実に選別できるように、以下のようない方法を探る。

【0312】 あらかじめ、第 2 の形成周期 (パターン B) を持つリッジ部 31A 及びダミーリッジ部 31B を区別できるように番号等を付しておく。ここでは、番号 2 を付したリッジ部 31 を電流注入用のリッジ部 31A とする。

【0313】 一方、ウェハ上には、リッジ部 31 ごとに付された番号と対応するように、例えば、基板 11 上におけるレーザ素子同士の間のへき開領域等に、合わせマーク (=アライメントパターン) を設けておく。本実施形態の場合は、第 1 の形成周期 (パターン A) と第 2 の形成周期 (パターン B) の差は 2 μm であるため、パターン B を 8 回繰り返すと、互いに近接するリッジ部 31 と凸部 12a との互いの位置関係が同一となる。従つて、少なくとも 8 個の合わせマークを用意すれば、番号 1 ~ 8 の間には、○印を付すことができるリッジ部 31 が少なくとも 1 つ存在することになる。

【0314】 従って、図 35 に示したエッチング工程においては、一例として、積層体 30 における番号 3 のダミーリッジ部 31B と番号 4 のダミーリッジ部 31B との間の領域に、フォトマスクの境界を合わせれば、電流注入用のリッジ部 31A を残すことができる。

【0315】 また、p 側電極 23 を形成する際に絶縁膜 22 に対して開口部を形成するエッチングの際にも、番号 2 が付されたリッジ部 31A を容易に認識できる。

【0316】 なお、レーザ素子のチップ幅は約 300 μm ~ 500 μm であるため、番号 1 ~ 8 の第 3 の周期が 1 回でなく、2、3 回現われる。

【0317】 さらに、シード層 12 と選択成長層 14 との間にストライプ状の空隙部 12c が形成されていることによる、マスクの位置合わせ時に生じる効果について説明する。この効果は、シード層 12 の上部に設けた空隙部 12c 同士の間の凸部 12a の頂面を ELO 成長の種結晶に用いることから生じている。すなわち、転位が少ないリッジ部 31 を選択するには、光学顕微鏡等を用

いて上方から観察する際に、積層体 30 における低転位密度領域を特定できなくてはならない。本実施形態においては、図 32 に示すように、空隙部 12c によって、観察光の屈折率差が大きくなるため、凸部 12a (高転位密度領域) の位置が明確となるので、凸部 12a と接合部 14aとの間に位置する電流注入用のリッジ部 31A の候補となるリッジ部 31 を容易に且つ確実に区別できるようになる。その結果、フォトリソグラフィ工程におけるマスクの位置合わせが容易となり、フォトリソグラフィ工程のスループットを向上できる。

【0318】なお、本実施形態においては、凸部 12a の第 1 の形成周期と、リッジ部 31 の第 2 の形成周期とをいずれも一定の周期としたが、必ずしも一定である必要はなく、各形成周期が互いにずれるような構成であればよい。例えば、各形成周期が等差級数を満足するような数列群を構成していくもよい。

【0319】また、絶縁膜 35 に窒化アルミニウムを用い、絶縁膜 22 に窒化シリコンを用いたが、絶縁膜 22 のエッチングの際に、絶縁膜 35 に対してエッチング選択比が十分に大きければ良く、これらの代わりに、例えば、絶縁膜 35 が酸化シリコンで且つ絶縁膜 22 が窒化シリコンであっても良い。また、絶縁膜 22 に対するエッチングはウエットエッチングでもドライエッチングでもよい。

【0320】また、基板 11 にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジウムガレート (NGO) 又は窒化ガリウム等を用いてもよい。

【0321】また、マスク膜 13 には、E C R スパッタ法による窒化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タンゲステン等の高融点金属やそのシリサイド化物を用いると良い。

【0322】また、シード層 12 の上部の凸部 12a を形成する際にリフトオフ法を用いたが、凸部 12a 及び溝部 12b が形成できる方法であればよい。

【0323】また、本実施形態に係る、互いに周期が異なる 2 種類の周期構造体を用いる方法は、従来の E L O 成長法等にも適用できる。

【0324】

【発明の効果】本発明の窒化物半導体の製造方法によると、E L O 成長する選択成長層が、E L O 成長時のマスク膜の上に析出する多結晶体の影響を受けなくなるため、選択成長層及びその上に成長する積層体の結晶の品位が向上する。従って、本発明の窒化物半導体を用いた窒化物半導体素子の動作特性及び信頼性を向上できる。

【0325】また、マスク膜の上に析出する多結晶体の影響を受けなくなるための凸部同士の間を壁面とする空隙部により、光閉じ込め係数値を向上できる。

【0326】また、空隙部を設けることにより、共振器端面を自然形成でき、該共振器端面をへき開面としなくても済み、また、選択成長層の結晶成長軸のチルトを低

減でき、マスクの位置合わせをも容易に行なえるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図 2】(a) 及び (b) は本発明の第 1 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 3】(a) 及び (b) は本発明の第 1 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 5】本発明の第 1 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法の特徴を示す模式的な断面図である。

【図 6】(a) ~ (d) は本発明の第 1 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法の特徴を段階的に示す模式的な断面図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施形態の第 1 変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の選択成長層の室温におけるフォトルミネッセンスを、第 1 の実施形態と比較した結果を示すグラフである。

【図 8】本発明の第 1 の実施形態の第 2 変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図 9】本発明の第 2 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図 10】(a) 及び (b) は本発明の第 2 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 11】本発明の第 2 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 12】本発明の第 2 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 13】本発明の第 2 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示すグラフである。

【図 14】本発明の第 3 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図 15】本発明の第 3 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面の光強度分布との関係を示すグラフである。

【図 16】本発明の第 3 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示すグラフである。

【図 17】本発明の第 3 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体 30 を形成する前の選択成長層の光学顕微鏡による平面写真と、それと対応する構成断面図である。

【図 18】本発明の第 4 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図 19】(a) は本発明の第 4 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における選択成長機構を模式的に表わした断面構成図である。(b) は第 2 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における選択成長機構を模式的に表わした断面構成図である。

【図 20】(a) は本発明の第 4 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法において選択成長層を 2 段階で形成する効果を示す部分的な斜視図である。(b) は比較用であって、窒化ガリウム系半導体レーザ素子の選択成長層の側面にうねりが生じる様子を示す部分的な斜視図である。

【図 21】(a) ~ (d) は本発明の第 4 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法の特徴を段階的に示す模式的な断面図である。

【図 22】本発明の第 5 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体の M 面、すなわち基板の A 面における構成断面図である。

【図 23】本発明の第 5 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示し、図 22 の XXIII-XXIII 線における構成断面図である。

【図 24】本発明の第 5 の実施形態の第 1 変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体の M 面、すなわち基板の A 面における構成断面図である。

【図 25】本発明の第 5 の実施形態の第 2 変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体の M 面、すなわち基板の A 面における構成断面図である。

【図 26】本発明の第 5 の実施形態の第 3 変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体の M 面、すなわち基板の A 面における構成断面図である。

【図 27】本発明の第 6 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体の A 面、すなわち基板の M 面における構成断面図である。

【図 28】(a) 及び (b) は本発明の第 6 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 29】(a) 及び (b) は本発明の第 6 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 30】(a) 及び (b) は本発明の第 6 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 31】本発明の第 6 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面

図である。

【図 32】本発明の第 7 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の構成断面図である。

【図 33】本発明の第 7 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 34】本発明の第 7 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

10 【図 35】本発明の第 7 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 36】(a) 及び (b) は本発明の第 7 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示し、(a) は電流注入用に使用が適当なリッジ部と不適当なリッジ部とを示す断面図であり、(b) はリッジ部ごとに識別用の目印を周期的に付した様子を示す断面図である。

【図 37】第 1 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の構成断面図である。

【図 38】第 2 の従来例に係る ELOG 法によって形成された窒化ガリウムの結晶転位の

【図 39】第 2 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の構成断面図である。分布を模式的に表わした構成断面図である。

【図 40】(a) ~ (d) は第 2 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における結晶成長の様子を段階的に示す模式的な断面図である。

30 【図 41】第 1 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面の光強度分布との関係を示すグラフである。

【図 42】第 1 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の遠視野像を示している。

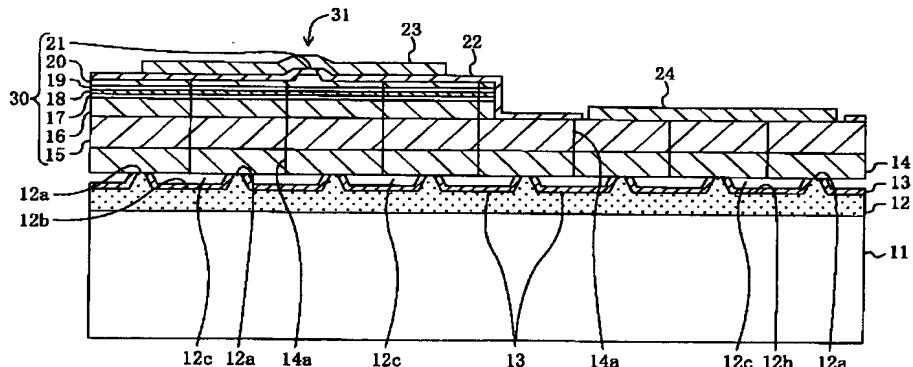
【図 43】第 1 の従来例に係る窒化ガリウム系レーザ素子における基板と共振器のへき開端面を示す模式的な斜視図である。

【符号の説明】

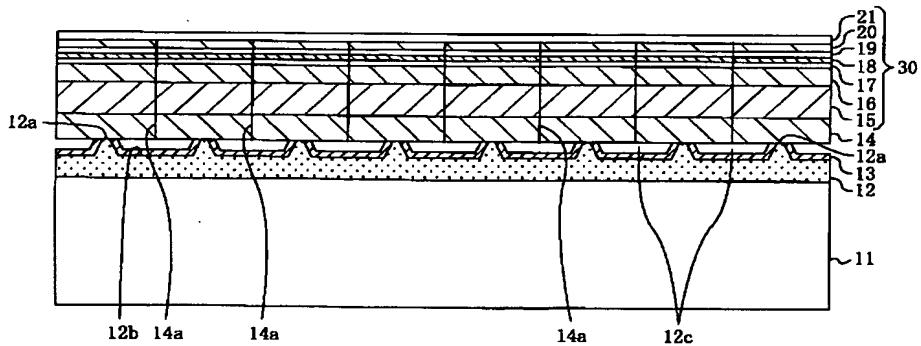
| | |
|----------|---------|
| 1 1 | 基板 |
| 1 1 A | 基板 |
| 1 1 a | 凸部 |
| 1 1 b | 溝部 |
| 1 2 | シード層 |
| 1 2 a | 凸部 |
| 1 2 b | 凹部 (溝部) |
| 1 2 c | 空隙部 |
| 1 3 | マスク膜 |
| 1 4 | 選択成長層 |
| 1 4 a | 接合部 |
| 50 1 4 b | 高転位密度領域 |

| | | | |
|-------|------------------|--------|----------|
| 1 4 c | 低転位密度領域 | 2 2 | 絶縁膜 |
| 1 4 d | うねり | 2 3 | p 側電極 |
| 1 4 A | 選択成長層 | 2 4 | n 側電極 |
| 1 4 B | 第1の選択成長層 | 2 5 | p 側配線電極 |
| 1 4 C | 第2の選択成長層 | 2 6 | n 側配線電極 |
| 1 5 | n型コンタクト層 | 3 0 | 積層体 |
| 1 5 a | 接合部 | 3 1 | リッジ部 |
| 1 5 A | n型超格子コンタクト層 | 3 1 A | リッジ部 |
| 1 6 | n型クラッド層 | 3 1 B | ダミーリッジ部 |
| 1 6 A | n型超格子クラッド層 | 10 3 2 | 共振器端面 |
| 1 7 | n型光ガイド層 | 3 4 | 選択成長シード層 |
| 1 8 | 多重量子井戸 (MQW) 活性層 | 3 5 | 絶縁膜 |
| 1 9 | p型光ガイド層 | 4 0 | レジストパターン |
| 2 0 | p型クラッド層 | 4 1 | 多結晶体 |
| 2 1 | p型コンタクト層 | | |

[図 1]

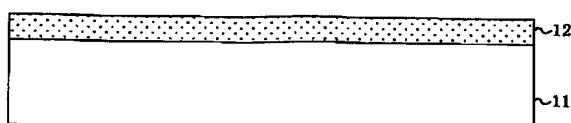


【図4】



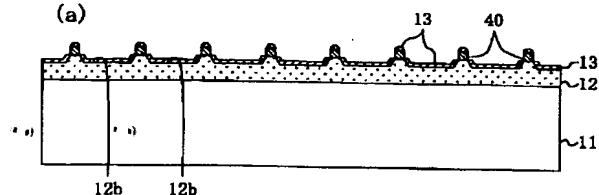
【図 2】

(a)

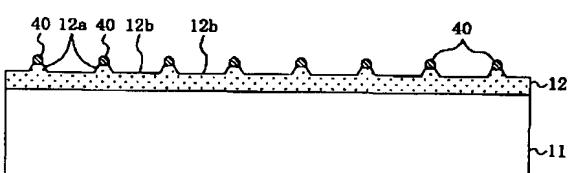


【図 3】

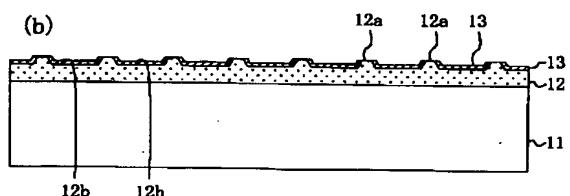
(a)



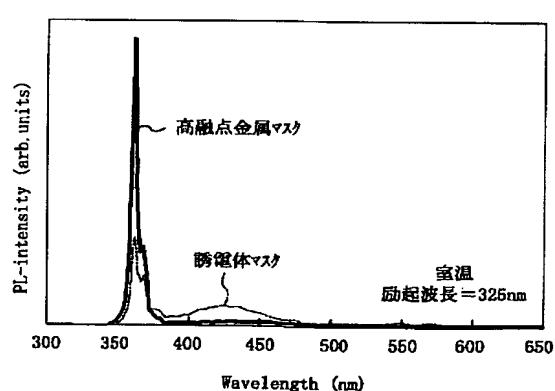
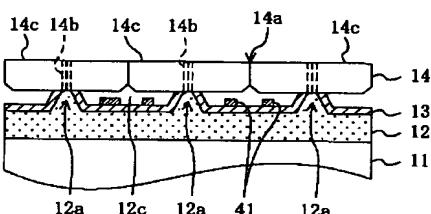
(b)



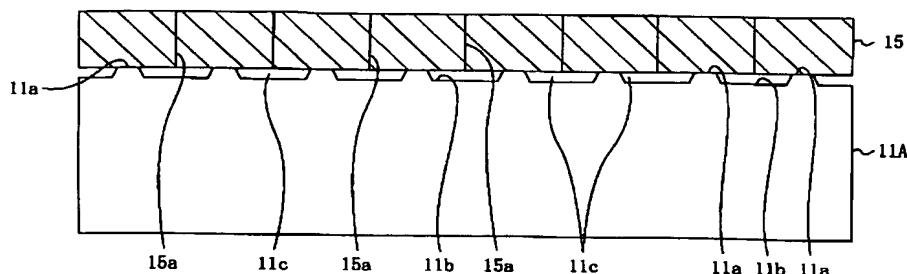
(b)



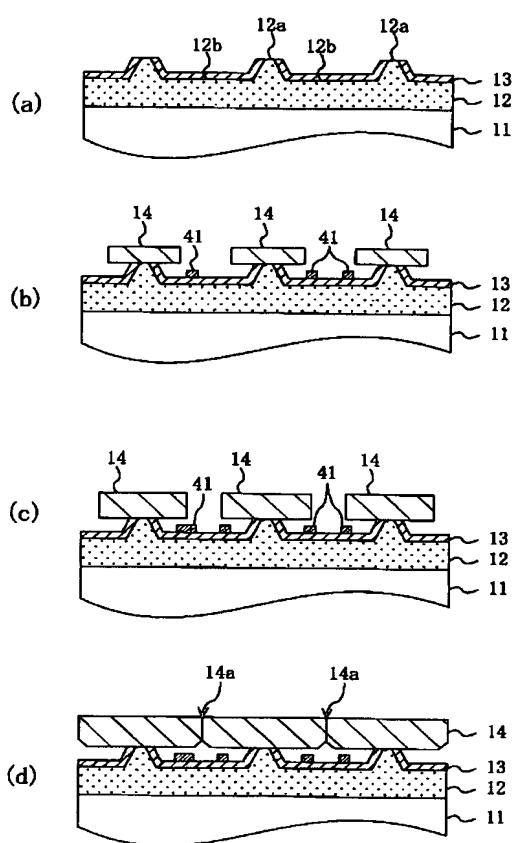
【図 5】



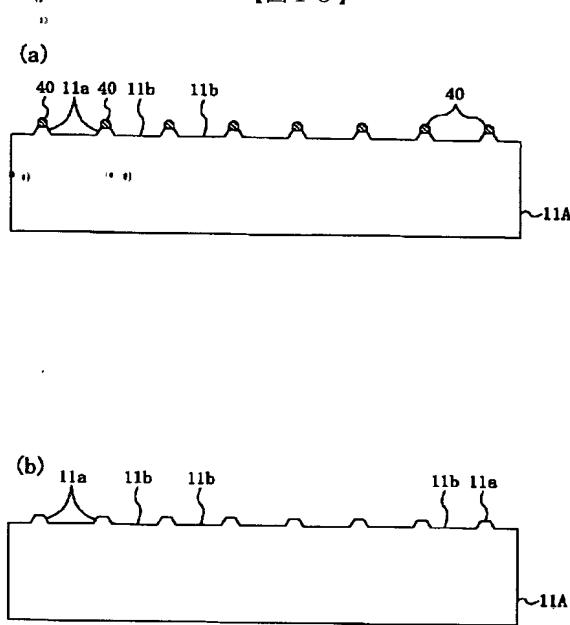
【図 11】



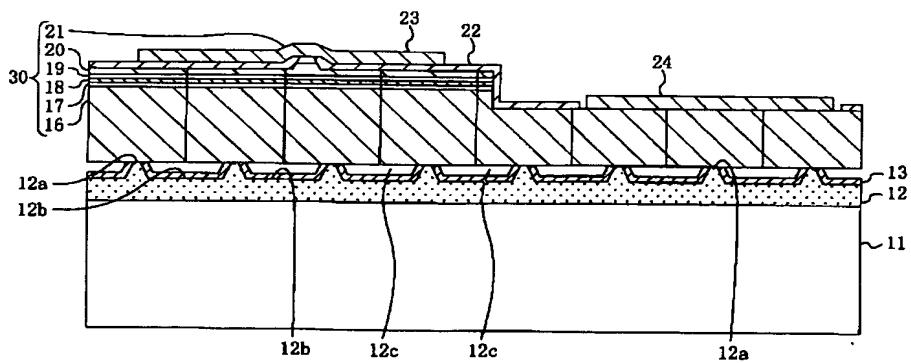
【図 6】



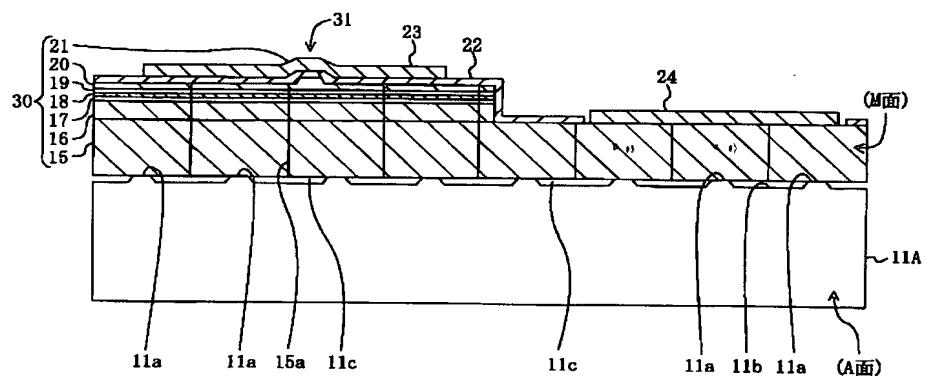
【図 10】



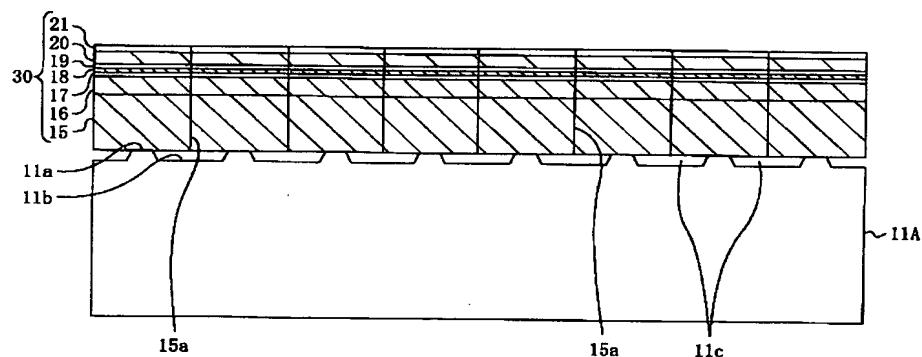
【図 8】



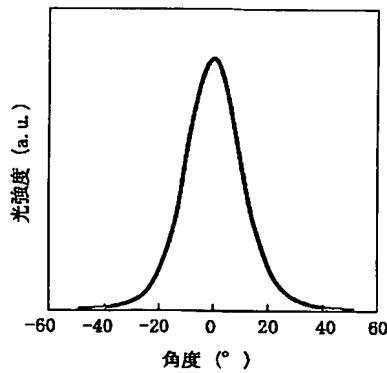
【図 9】



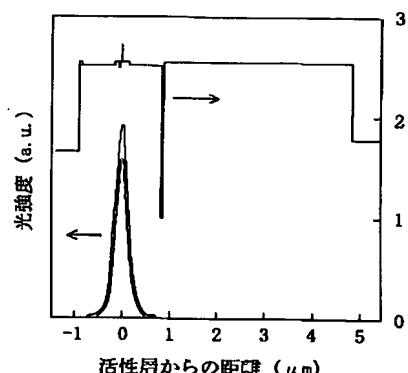
【図 12】



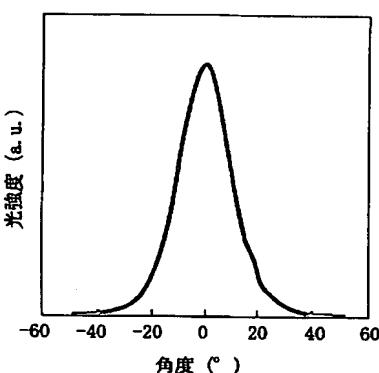
【図 13】



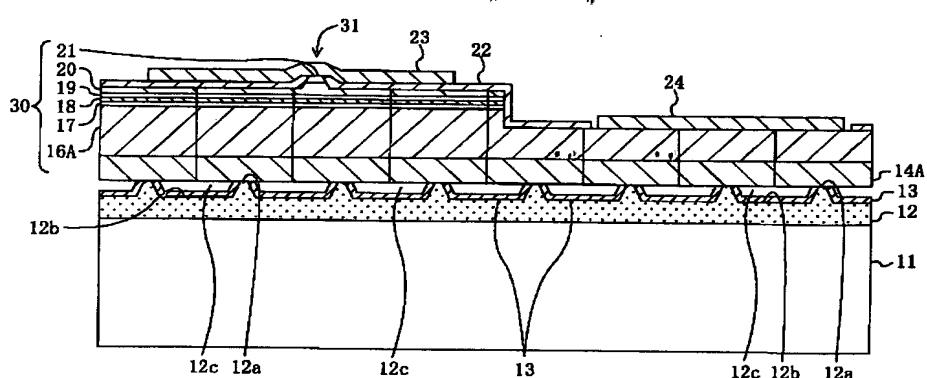
【図 15】



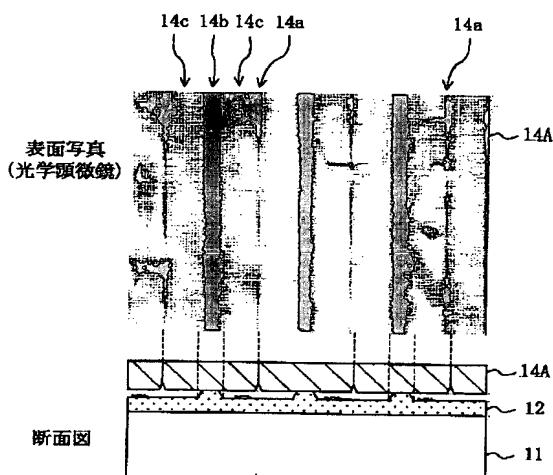
【図 16】



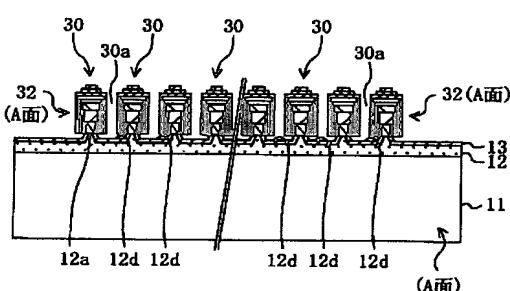
【図 1 4】



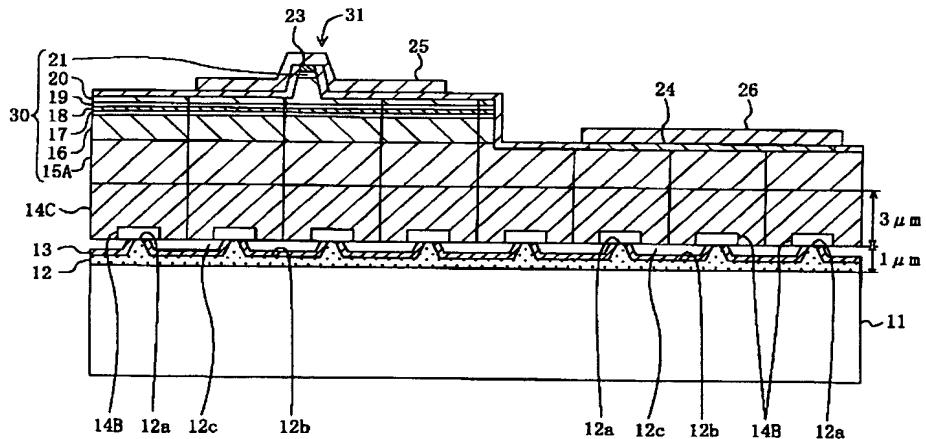
【図 1 7】



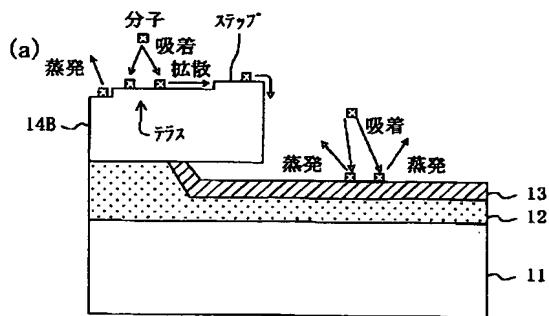
【図 2 5】



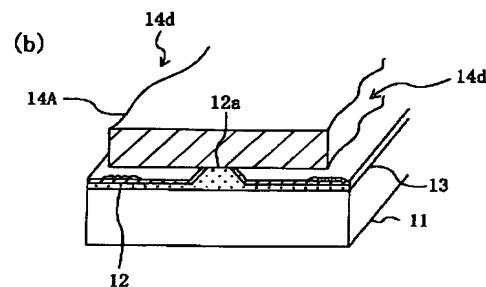
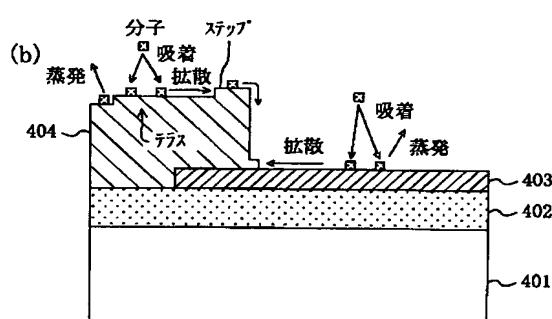
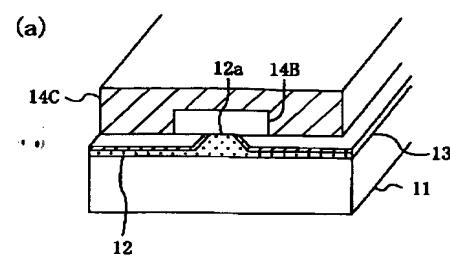
【図 1 8】



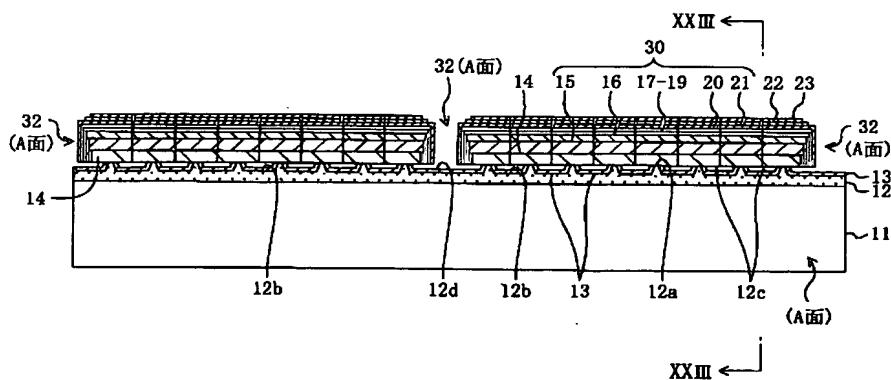
【図 19】



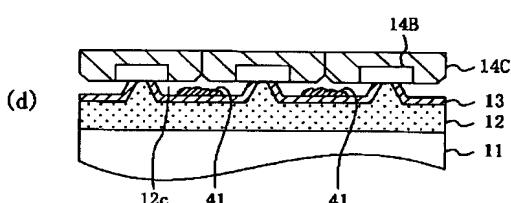
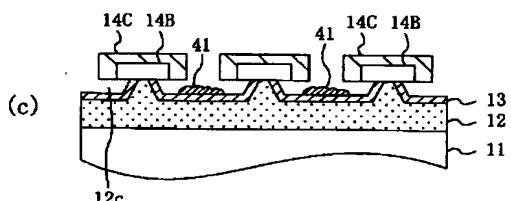
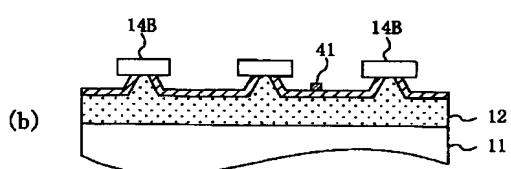
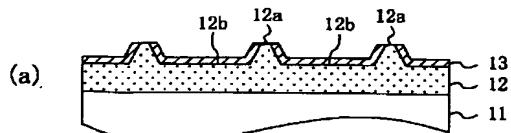
【図 20】



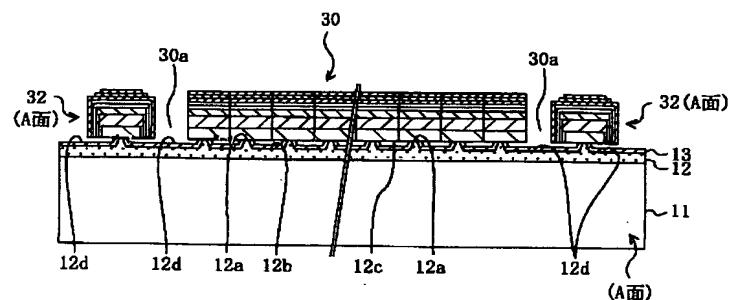
【図 22】



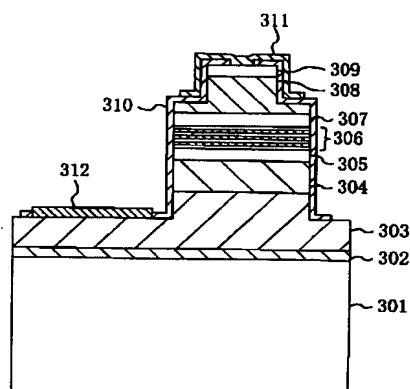
【図 2 1】



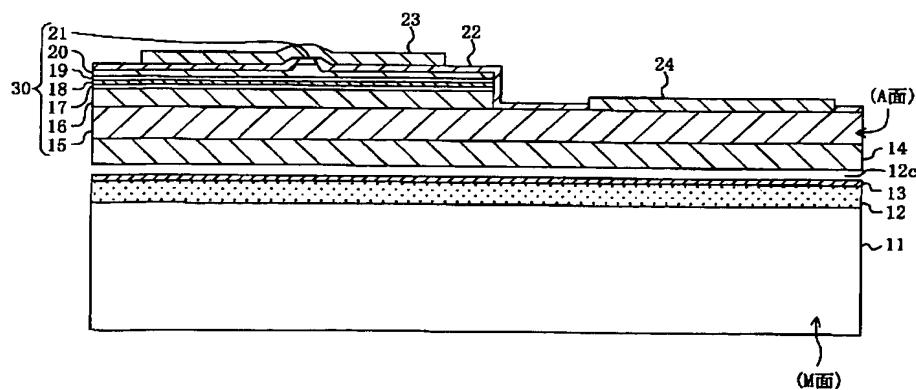
【図 2 4】



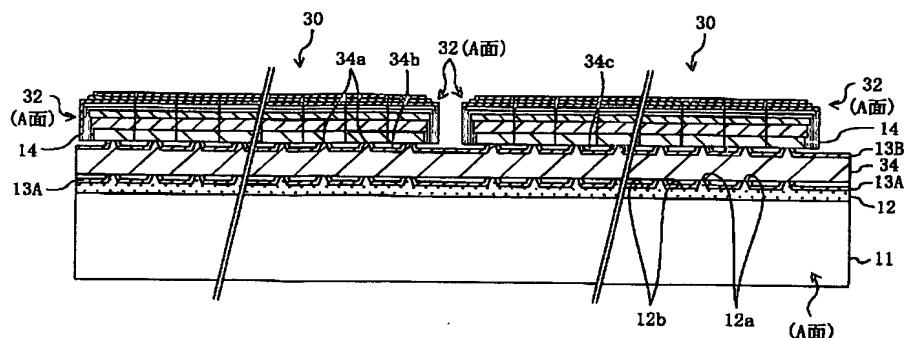
【図 3 7】



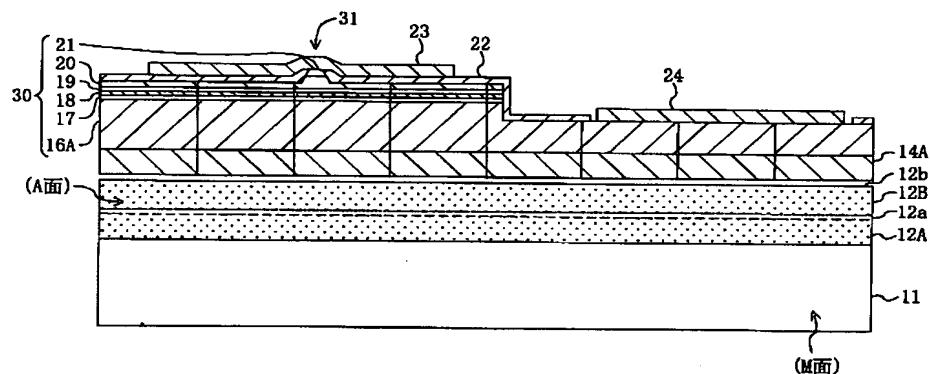
【図 2 3】



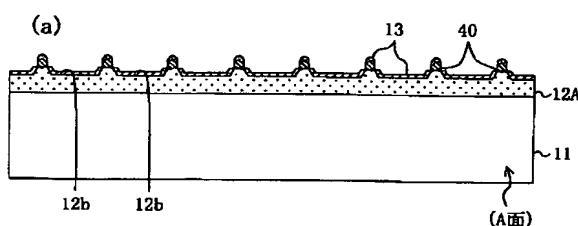
【図 26】



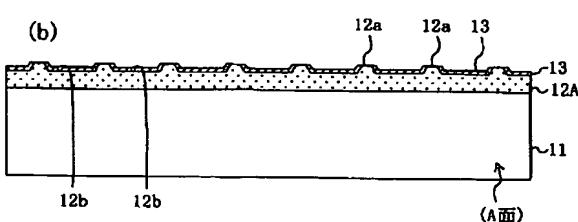
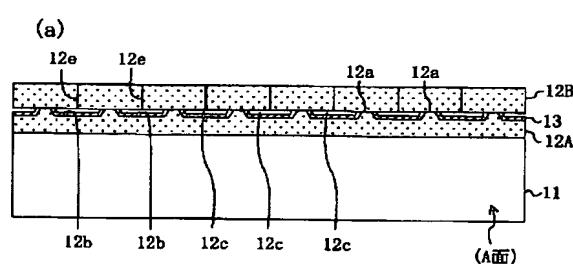
【図 27】



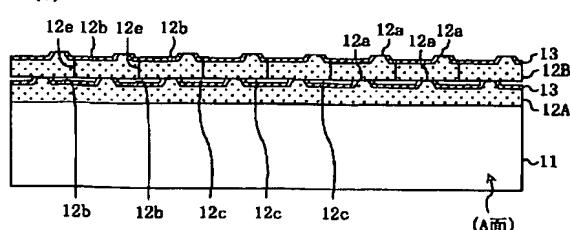
【図 29】



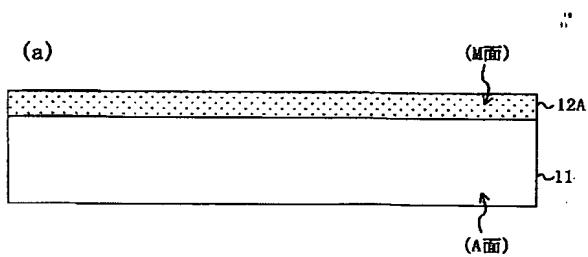
【図 30】



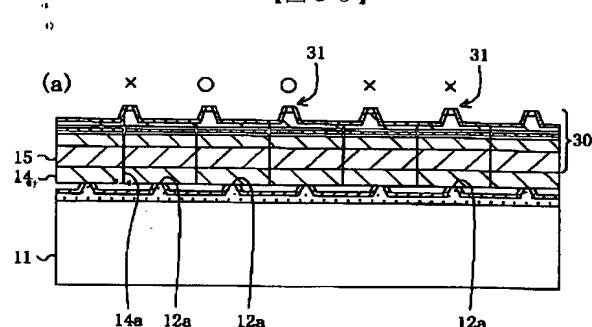
(b)



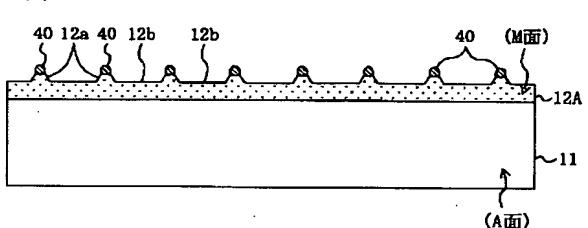
【図 28】



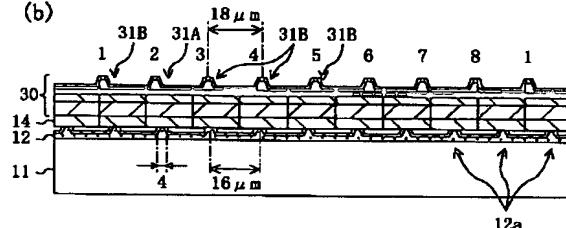
【図 36】



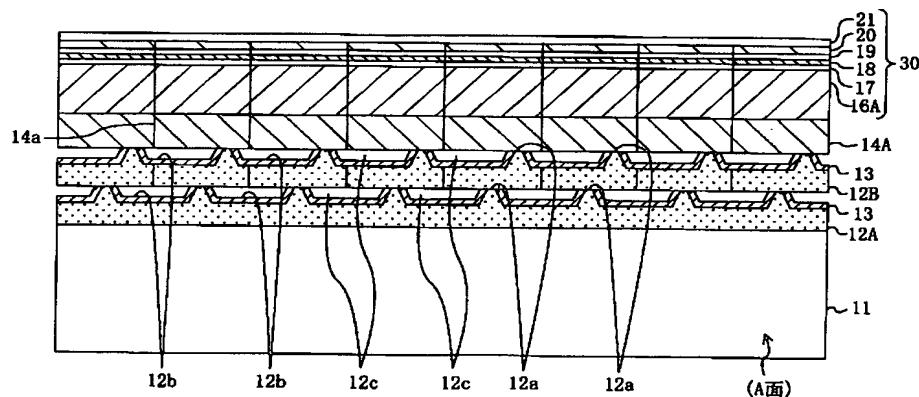
(b)



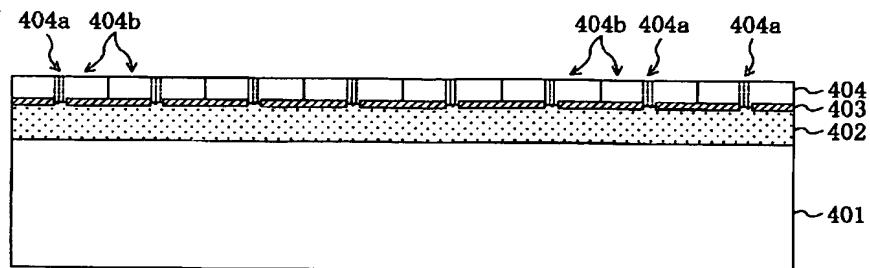
(b)



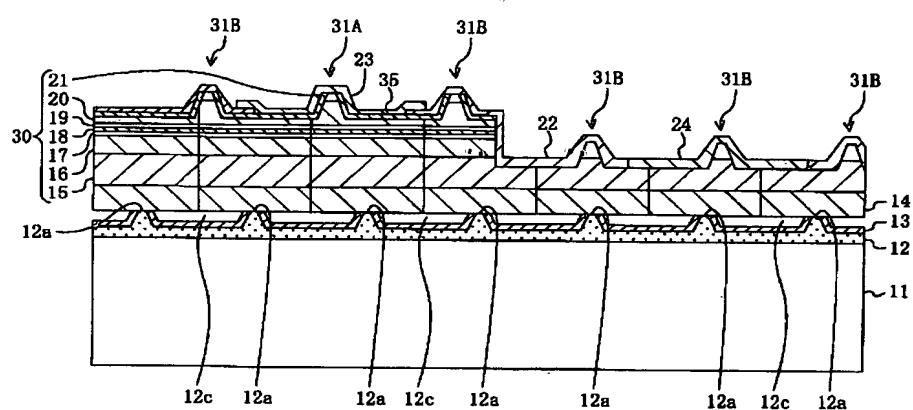
【図 31】



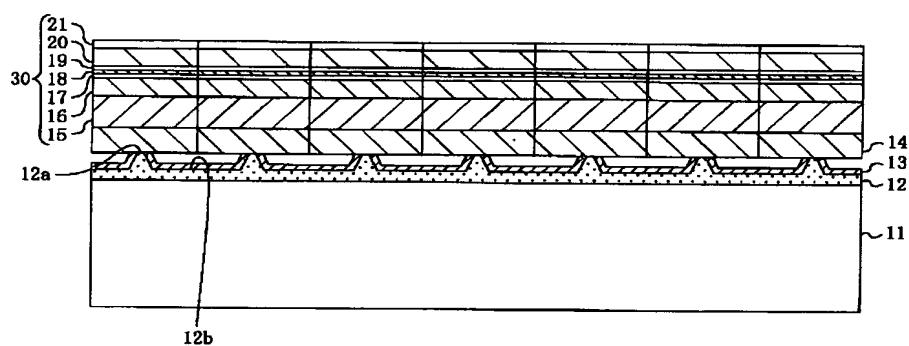
【図 38】



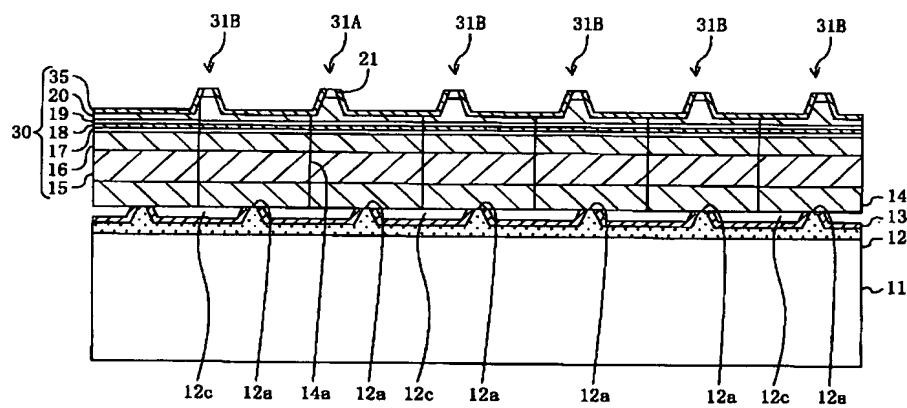
【図 3 2】



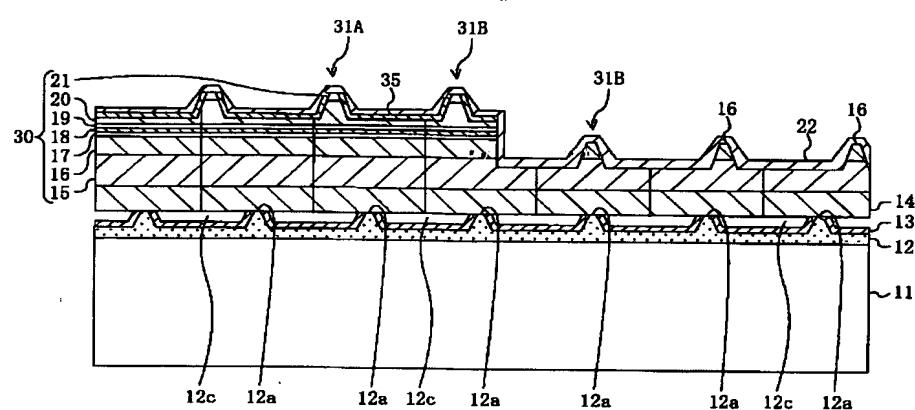
【図 3 3】



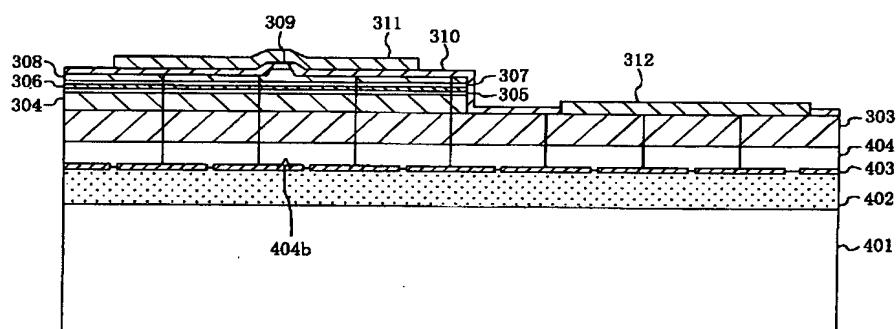
【図 3 4】



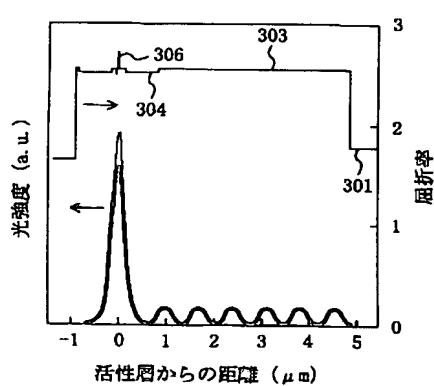
【図 3 5】



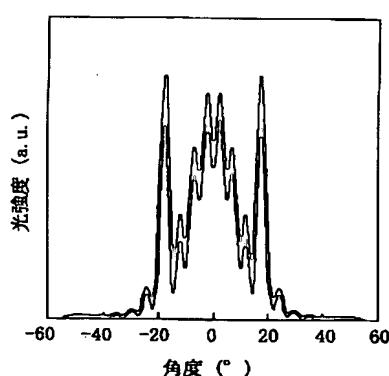
【図 3 9】



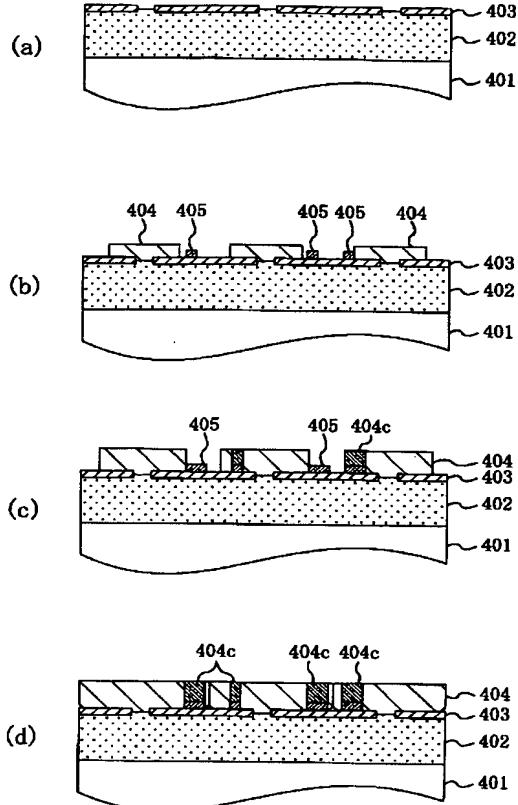
【図 4 1】



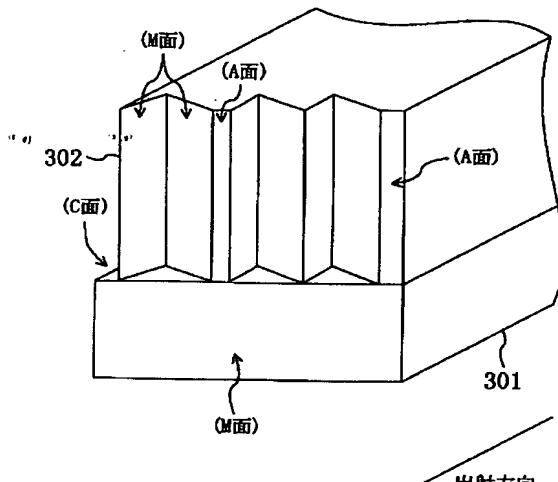
【図 4 2】



【図40】



【図43】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願2000-18407 (P2000-18407)
 (32) 優先日 平成12年1月27日 (2000. 1. 27)
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)

(31) 優先権主張番号 特願2000-25931 (P2000-25931)
 (32) 優先日 平成12年2月3日 (2000. 2. 3)
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)

(31) 優先権主張番号 特願2000-48824 (P2000-48824)
 (32) 優先日 平成12年2月25日 (2000. 2. 25)
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)

(31) 優先権主張番号 特願2000-120760 (P2000-120760)
 (32) 優先日 平成12年4月21日 (2000. 4. 21)
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)

(31) 優先権主張番号 特願2000-120761 (P2000-120761)
 (32) 優先日 平成12年4月21日 (2000. 4. 21)
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)

(72) 発明者 菅原 岳
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

(72) 発明者 辻村 歩
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

(72) 発明者 伴 雄三郎
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

(72) 発明者 鈴木 政勝
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

(72) 発明者 余 雅博
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

(72) 発明者 宮永 良子
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

(72) 発明者 森田 清之
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

(72) 発明者 長谷川 義晃
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

F ターム(参考) 5F041 AA40 CA04 CA05 CA34 CA40
CA46 CA65 CA67 CB02 FF16
5F045 AA04 AA19 AB14 AB17 AB18
AB31 AB32 AC01 AC08 AC12
AC19 AF09 AF12 AF13 BB12
CA10 CA12 DA53 DA54 DB02
DB06
5F073 AA11 AA13 AA45 AA55 AA74
CA07 CB05 CB07 DA05 DA07
DA35 EA29